

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

«На правах рукопису»
УДК 532.5.032

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Гідропневмоавтоматика та
гідравлічні і пневматичні машини»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: Експериментальне дослідження гідродинамічної кавітації, що
супроводжується явищем люмінесценції _____

Experimental study of hydrodynamic cavitation, accompanied by the
phenomenon of luminescence _____

Виконав студент 2 курсу, групи МА–91мп
(шифр групи)

_____ Кривошеєв Владислав Євгенійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент, Ночніченко І.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Техн. машин. д.т.н., проф., Сохань С.В.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент ?????
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Гідропневмоавтоматика та гідравлічні і пневматичні машини»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ПГМ

_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

_____ Кривошесу Владиславу Євгенійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Експериментальне дослідження гідродинамічної кавітації, що супроводжується явищем люмінесценції _____

Experimental study of hydrodynamic cavitation, accompanied by the phenomenon of luminescence _____

науковий керівник дисертації Ночніченко Ігор Вікторович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. № 3205

2. Термін подання студентом дисертації _____ &&&&&& _____

3. Об'єкт дослідження Процес гідродинамічної кавітації та гідролюмінесценції

4. Вихідні дані: перепад тиску на апараті 1...50 бар, витрата рідини 0,1...2 л/хв., перепад температури робочої рідини 10 °C ...55 °C, густина робочої рідини- 900 кг/м³, тип мастила Леол М 20 _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Виконати аналіз існуючих теорій утворення гідродинамічної люмінесценції; 2) Порівняти явища сонолюмінесценції та гідролюмінесценції; 3) Розробити установку для дослідження явищ кавітації та гідролюмінесценції; 4) Виконати експериментальне дослідження кавітації та гідролюмінесценції; 5) Підібрати

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація присвячена експериментальному дослідженню гідродинамічної кавітації, що супроводжується явищем люмінесценції, аналізу причин і умов виникнення та способів запобігання їй.

У даній роботі проведено детальний аналіз двох основних існуючих теорій утворення гідродинамічної люмінесценції: теплової та електричної. Докладно розглянуті питання подібності та відмінностей явищ сонолюмінесценції та гідролюмінесценції.

Для експериментальних досліджень гідродинамічної люмінесценції був розроблений експериментальний стенд на основі гідродинамічного кавітатора, який дозволяв спостерігати люмінесценцію в робочій рідині і фіксувати умови її виникнення з подальшою обробкою результатів вимірювання на персональному комп'ютері.

Гідролюмінесценція спостерігалася на гідродинамічному кавітаторі, виконаному з прозорого оргскла і фіксувалося за допомогою цифрової фотокамери. Площа перетину прохідного отвору кавітатора змінювалася за допомогою регулювальних гвинтів з різних матеріалів. Було виявлено, що явище гідролюмінесценції має ефект гістерезіса щодо різниці тисків на вході та виході кавітатора. Наступним етапом експерименту було запропоновано вивчити явище гідролюмінесценції при наявності в робочій рідині бульбашок інертного газу. Для цього був обраний і розрахований ежекторний змішувач.

Магістерська дисертація виконана із застосуванням таких програмних засобів і комп'ютерних технологій, як MS Word (оформлення текстової частини), MS Excel (розрахунок показників), КОМПАС-3D v16.1 (створення гідравлічної схеми та креслень), Ansys v.17.2 (моделювання роботи основних елементів експериментального стенду) та Internet (опрацювання науково-теоретичних та аналітичних матеріалів).

Ключові слова: кавітація; сонолюмінесценція; гідролюмінесценція; ежектор; моделювання.

ANNOTATION

The master's dissertation is devoted to the experimental study of hydrodynamic cavitation, which is accompanied by the phenomenon of luminescence, analysis of the causes and conditions of occurrence and ways to prevent it.

In the given work the detailed analysis of two basic existing theories of formation of hydrodynamic luminescence is carried out: thermal and electric. The issues of similarities and differences of sonoluminescence and hydroluminescence phenomena are considered in detail.

For experimental studies of hydrodynamic luminescence, an experimental stand based on a hydrodynamic cavitator was developed, which allowed to observe luminescence in the working fluid and record the conditions of its occurrence with subsequent processing of measurement results on a personal computer.

Hydroluminescence was observed on a hydrodynamic cavitator made of transparent plexiglass and recorded using a digital camera. The cross-sectional area of the through hole of the cavitator was changed using adjusting screws of different materials. It was found that the phenomenon of hydroluminescence has a hysteresis effect on the pressure difference at the inlet and outlet of the cavitator. The next stage of the experiment was proposed to study the phenomenon of hydroluminescence in the presence of inert gas bubbles in the working fluid. An ejector mixer was selected and calculated for this purpose.

The master's dissertation is made with the use of such software and computer technologies as MS Word (text design), MS Excel (calculation of indicators), KOMPAS-3D v16.1 (creation of hydraulic scheme and drawings), Ansys v.17.2 (main elements of the experimental stand) and the Internet (processing of scientific-theoretical and analytical materials).

Key words: cavitation; sonoluminescence; hydroluminescence; ejector; modeling.

Пояснювальна записка
до магістерської дисертації

на тему: Експериментальне дослідження гідродинамічної кавітації, що супроводжується явищем люмінесценції

Experimental study of hydrodynamic cavitation, accompanied by the phenomenon of luminescence

Київ – 2020 рік

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕОРІЙ УТВОРЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ.....	11
1.1 Сонолюмінесценція.....	15
1.2 Гідролюмінесценція.....	21
2 ЦІЛІ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ.....	35
3.1 Опис експериментальної установки.....	35
3.2 Дослідження явищ кавітації та гідролюмінесценції.....	38
4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РІДИННО-ГАЗОВОГО ЗМІШУВАЧА.....	48
4.1 Вибір типу змішувача.....	48
4.2 Розрахунок ежектора-змішувача.....	51
5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ «КОРПУС ЕЖЕКТОРА».....	63
5.1 Технологічний контроль креслення.....	63
5.2. Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі.....	64
5.3 Вибір заготовки та його технічне обґрунтування.....	65
5.4 Проектування типового технологічного процесу.....	66
5.4.1 Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту.....	66
5.4.2 Вибір типового технологічного процесу.....	67
5.4.3 Вибір і обґрунтування режиму обробки.....	71
5.4.4 Розробка маршрутного технологічного процесу.....	73

					МА5112.МД01.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Експериментальне дослідження гідродинамічної кавітації, що супроводжується явищем люмінесценції Пояснювальна записка	Літера	Лист	Листів
Розроб.		Кривошеєв В.Є.					7	106
Перевір.		Ночніченко І.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Гришко І.А.						
Затверд.		Луговський О.Ф.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ММІ, ПГМ, МА–91мп		

6 БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА	
ПРОЕКТУВАННЯ.....	76
6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у лабораторії гідравліки...	76
6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу	
небезпечних та шкідливих факторів.....	79
6.2.1 Розрахунок штучного освітлення.....	82
6.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки.....	86
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	89
ВИСНОВКИ.....	105
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	108

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

РС – персональний комп'ютер;

ББСЛ – багатобульбашкова сонолюмінесценція;

ГЛ – гідродинамічна люмінесценція, гідролюмінесценція;

ОБСЛ – однобульбашкова сонолюмінесценція;

СЛ – сонолюмінесценція;

УЗ – ультразвук, ультразвуковий;

ФЕП – фотоелектронний перетворювач.

ВСТУП

У гідравлічних пристроях автоматики в якості запірно-регулюючих елементів широко використовуються різні типи дроселів: в діафрагменних і циліндричних дроселях потік робочої рідини має яскраво виражений турбулентний характер, а в стиснутому перерізі велика швидкість викликає кавітацію і пов'язане з нею активне виділення бульбашок нерозчинених повітря і пара.

У зоні підвищеного тиску бульбашки миттєво зникають, що викликає ерозійне руйнування матеріалу стінок каналу і активні акустичні процеси. Швидке змикання паро-газових каверн, відповідно до законів термодинаміки, може викликати локальне підвищення температури, а при певних умовах і свічення рідини.

В іноземній науково-технічній літературі широко використовуються два терміни, що позначають свічення рідини: *sonoluminescence* (сонолюмінесценція) та *light emission* (світловипромінювання).

Перший термін безпосередньо пов'язаний з ультразвуком як причиною, що викликає свічення рідини; другий – передбачає більш широке коло причин, що викликають свічення.

Питання про фізику процесу утворення гідродинамічної люмінесценції залишається відкритим і потребує ретельного дослідження.

Мета роботи: експериментальне дослідження явища гідродинамічної люмінесценції при змінних режимах експлуатації.

Завдання для досягнення цієї мети:

- виконати аналіз існуючих теорій утворення гідродинамічної люмінесценції;
- розробити стенд для дослідження явищ кавітації та гідролюмінесценції;

- експериментальне дослідження кавітації та гідролюмінесценції при різних умовах проведення експерименту;
- провести аналітичне обґрунтування отриманих результатів.

Об’єктом дослідження є явище гідродинамічної люмінесценції.

Предметом дослідження є експериментальний стенд на основі гідродинамічного кавітатора, який дозволяє спостерігати люмінесценцію в робочій рідині.

У ході дослідження були використані публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, мережа Internet, різні методи пізнання: конкретизації, наукового узагальнення, порівняння, аналізу, а також обчислювальні та натурні експерименти.

Магістерська дисертація загальним обсягом 111 сторінок, містить 25 ілюстрацій, 24 таблиці та 33 джерела за переліком посилань.

						11

1 АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕОРІЙ УТВОРЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

Електризація рідини при дробленні вперше була помічена і описана в 1786 році у водоспадів Швейцарії. Найбільш значний ефект електризації повітря спостерігається у найбільших водоспадів світу – біля водоспаду Ігуасу на кордоні Бразилії та Аргентини (висота падіння води 190 м) і біля водоспаду Вікторія на річці Замбезі в Африці (висота падіння води 133 м). У водоспаду за рахунок дроблення води виникає електричне поле, наприклад у Вікторії напруженість поля досягає до 25 кВ/м. З віддаленням від водоскиду це поле зменшується і на відстані близько 1600 м по горизонталі і 500 м по вертикалі електричне поле водоспаду переходить в нормальне електричне поле земної поверхні.

Найбільша електризація повітря спостерігається при розбризкуванні чистої води. Зі збільшенням концентрації домішок електризація зменшується і далі змінює знак, а також зі збільшенням в'язкості рідини її електризація при дробленні зменшується [1].

Першими про сонолюмінесценцію (СЛ) в потоці рідини повідомили в 1933 році Маринеско і Тріллат, а дещо пізніше в Кельнському університеті в 1934 році Френцель і Шультес виявили слабе свічення в рідині під дією акустичних коливань, однак свічення було слабким і детально вивчити його не представлялося можливим [2]. Надалі подібні ефекти, відкриті Френцелем і Шультесом, отримали назву багатобульбашкової сонолюмінесценції (ББСЛ).

Великий внесок у вивченні фізичної природи сонолюмінесценції внесли Гайтан і Крам [3]. Їм вдалося отримати однобульбашкову сонолюмінесценцію (ОБСЛ) – одиночна колапсируюча бульбашка, свічення якої було стабільніше і інтенсивніше ББСЛ.

У 1964 році Джармен і Тейлор зареєстрували слабе люмінесцентне свічення води в зоні замикання кавітаційних каверн в трубі Вентурі. У своїй дисертації Петерсон [2] в 1966 р. також зазначив світловипромінювання в області замикання бульбашок при гідродинамічній кавітації.

У 70-х роках ХХ століття Колдомасовим А.І. було виявлено свічення дистильованої води, що протікає у вузькому каналі [4]. Природа свічення була пояснена плазовими розрядами при кавітації води, проте причина виникнення розрядів і джерело утворення плазми були неясні.

У 1991 році Барбер і Патерман [3] розробили акустичну камеру, де стабільно спостерігався ОБСЛ, даний експеримент дозволив більш систематичні дослідження явища сонолюмінесценції. Завдяки стабільному свіщенню одиночної бульбашки і довготривалої пульсації в певній точці можливе проведення достовірних фізичних експериментів, таких як визначення з високою точністю радіуса бульбашки і швидкості руху її стінки, фіксація з високим тимчасовим дозволом моменту і тривалості імпульсу спалаху СЛ.

У 2004 році Пільгунов В.Н. і Єфремова К.Д. виявили інтенсивне світловипромінювання при проходженні мінерального масла через мембранний дросель [2].

Пізніше (2007–2010 р.р.) схожі явища були виявлені при дослідженні кавітації в органічних рідинах, що протікають з високою швидкістю в вузьких діелектричних каналах [5].

Виявлене яскраве свічення було локалізовано в області найбільшого звуження каналу діаметром 1–2 мм на відстані 2–3 мм від входу в капіляр Вентурі при русі потоку зі швидкістю, яка перевищує 40 м/с. Свічення проявлялося у вигляді іскор, що проскакують вздовж за течією в центральній частині каналу.

Спочатку авторами цих відкриттів передбачалося, що вони наблизять їх до формулювання теорії фізичних процесів, які викликають явище

гідродинамічної люмінесценції, але з певною часткою ймовірності можна припустити, що нові процеси хоч і мають ряд схожих параметрів, все ж є відокремленими фізичними процесами.

Визначення фізичної природи процесу сонолюмінесценції дозволить знайти практичне застосування цього явища в широкому спектрі галузей науки і техніки.

Найбільша кількість результатів експериментальних і теоретичних робіт вказує, що процеси гідродинамічної люмінесценції мають електричну природу походження, але також є ряд робіт, в яких наводяться аргументи на користь теплової теорії.

Знайомство з літературою в області теорії сонолюмінесценції показало, що активно розглядаються електрична і електрохімічна природи її появи та існування [6], тому виявлення причин світловипромінювання на вхідній кромці дроселя пішло в напрямку визначення та аналізу електричних процесів в течії діелектричної рідини.

В даний час при розробці ряду науково-технічних проблем (в області звукохімії та альтернативної енергетики) все частіше можна почути термін «сонолюмінесценція». Сонолюмінесценцію можна виявити в ряді патентів, що захищають інноваційні методи переробки продуктів нафтохімії і синтезування медичних препаратів. Але, як такої, достовірної науково обґрунтованої теорії виникнення сонолюмінесценції немає. Тому сонолюмінесценція є об'єктом інтенсивних експериментальних і теоретичних досліджень.

До кінця XX століття в науковій періодиці термін «сонолюмінесценція», який спочатку описував люмінесценцію рідини під дією ультразвуку, практично закріпився за будь-яким видом свічення, що виникає в рідині при зовнішньому механічному впливі, в тому числі при відсутності ультразвуку. Частково такому термінологічному змішуванню сприяла відносно мала кількість робіт, в яких свічення в рідині

спостерігалось без додаткового ультразвукового впливу. Останнім часом, однак, кількість подібних робіт помітно зростає, так для позначення свічення при «чистій» гідродинаміці більш логічним видається використовувати термін «гідродинамічна люмінесценція» (гідролюмінесценція, ГЛ), виділяючи дане явище (принаймні поки) в окрему фізичну категорію [7]. Позначимо різницю між ними.

Сонолюмінесценція (СЛ) – емісія світла рідиною при впливі на неї ультразвуковими хвилями, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних звуковими (ультразвуковими) коливаннями. Поширення ультразвукової хвилі в рідині супроводжується утворенням кавітаційних бульбашок, які, в свою чергу, за певних умов, починають випромінювати світло.

Подібне свічення також можливо зафіксувати і при механічному впливі на рідину, наприклад, при пропущенні рідини через вузький канал, або при обтіканні перешкод. Оскільки подібні процеси носять гідродинамічний характер, щоб уникнути плутанини логічно було б назвати їх гідродинамічною люмінесценцією або гідролюмінесценцією [3].

Гідролюмінесценція (ГЛ) – емісія світла рідиною, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних гідродинамічними ефектами. Можна умовно виділити два фізичних процеси: СЛ і ГЛ. У науковому світі немає однозначної теорії виникнення сонолюмінесценції і гідролюмінесценції та однозначного трактування їх природи. Так чи інакше обидва ці процеси мають дві основні теорії їх виникнення – «теплову» і «електричну».

В основі «теплової» теорії лежить припущення, що при зовнішньому впливі на кавітуючу бульбашку всередині неї утворюються високі температури, які стимулюють випускання бульбашкою випромінювання. «Електрична» теорія будується на електричних явищах всередині самої бульбашки або взаємодії з близько кавітуючими бульбашками.

Як обґрунтування теорій першого типу певну роль відіграють повідомлення про відповідність суцільного спектра, що спостерігається при

сонолюмінесценції, спектру випромінювання абсолютно чорного тіла. Взагалі, питання про ідентичність СЛ і ГЛ залишається відкритим, хоча встановлено, що багато закономірностей сонолюмінесценції і гідролумінесценції збігаються [7].

При поясненні гідролумінесценції домінують електричні теорії. Ще в роботі [8] свічення пов'язувалося з виникаючими в рідині електричними розрядами. Електричні ефекти, що супроводжують течію рідини при високому тиску, безпосередньо спостерігалися і в роботах [5, 6], в роботі [4] подібний висновок був зроблений в результаті непрямих вимірювань. Взагалі, зв'язок між кавітацією і електричними розрядами може бути важливим і для розуміння фізичної природи пробою рідких діелектриків.

Однак детальні уявлення про механізм гідролумінесценції до цих пір не ясні. Які саме фази – газова (бульбашка), рідка (сама рідина, що протікає) або навіть тверда (стінка каналу) – відповідають за свічення, наскільки цей фізичний механізм переносимий на сонолюмінесценцію?

Наприклад, в роботі [9] вирішальна роль відводиться електронам, що емітуються зі стінки, які прилипають до молекул рідини з випусканням фотонів. Якщо роль стінки при гідролумінесценції дійсно настільки принципова, логічно було б припустити, що СЛ і ГЛ – різні фізичні явища.

1.1 Сонолюмінесценція

Вважається, що емісія світла відбувається після або в момент змикання кавітаційних бульбашок, тому на ефект сонолюмінесценції великий вплив мають температура і тиск, а також швидкість їх зміни. Дане питання детально вивчалось авторами [10, 11]. З ростом температури рідини, в якій спостерігається ефект сонолюмінесценції, відбувається збільшення тиску

газу всередині бульбашок і, як наслідок, свічення стає менш інтенсивним. В роботі [10] була визначена температура, при якій реєстрація СЛ неможлива, для води вона становить 65°C. Однак автори [11] показали, що сонолюмінесценцію можливо зареєструвати навіть в киплячій воді, за умови, що ультразвуковий (УЗ) генератор буде короткочасно включатися, щоб унеможливити дегазацію рідини. В роботі вдалося зафіксувати сонолюмінесценцію при швидкому вакуумуванні системи – близько 15 мм рт.ст., коли теоретично, змикання кавітаційних бульбашок неможливо.

Ультразвукова люмінесценція спостерігається в широкому діапазоні частот: 7 Гц – 1500 кГц. Авторам [12] вдалося зафіксувати сонолюмінесценцію при частоті коливань 7 Гц – 800 Гц, деякі автори [7] фіксували сонолюмінесценцію при частотах 300 кГц – 1500 кГц. Сонолюмінесценція спостерігається не тільки у воді, але і в водних розчинах, і в органічних сполуках [13], що явно свідчить про безліч факторів, що впливають на дане явище. На інтенсивність сонолюмінесценції впливає присутність розчинених в ній газів.

В [14] авторами було вивчено 36 речовин і виявлена залежність інтенсивності свічення від добутку дипольного моменту озвучених молекул на в'язкість даного середовища, дані представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Інтенсивність свічення речовин [14]

Речовина	Дипольний момент μ в одинацях Дебая	100 η (в'язкість η в пуазах)	100 μ η	Інтенсивність свічення
Метиловий спирт	1,64	0,591	0,97	0
Етиловий спирт	1,64	1,192	1,94	+
Пропіловий спирт	1,66	2,230	3,70	++
Ізопропіловий спирт	1,78	1,950	3,47	+++
Бутиловий спирт	1,74	2,801	4,87	+++
Ізоаміловий спирт	1,85	3,863	7,15	++++
О-динітробензол в бензолі	6,05	0,649	3,93	+++
М-динітробензол в бензолі	3,81	0,649	2,47	++
п-динітробензол в бензолі	0,32	0,649	0,21	0

Основним питанням залишається природа виникнення явища сонолюмінесценції. Як уже згадувалося, існує два процеси сонолюмінесценції: ОБСЛ і ББСЛ. Є різні теорії походження даних явищ, спорідненість цих явищ неоднозначна.

Великого поширення в поясненні світлових спалахів при кавітації отримали «електричні» теорії. Можна виділити чотири основні різновиди електричних теорій виникнення свічення:

- Левшин і Ржевкін в 1937 році припустили, що сонолюмінесценція обумовлена утворенням електричних зарядів на стінках кавітаційної бульбашки в результаті ефекту, схожого з балоелектричним (ефектом Ленарда);
- висунута Френкелем в 1940 році теорія пояснювала свічення тим, що кавітаційна порожнина в рідині в момент утворення є лінзоподібною, а некомпенсовані електричні заряди протилежного знаку, що утворюються в момент розриву рідини і

є наслідком флуктуації розподілу іонів, присутніх в рідині, на стінках бульбашки;

- згідно Маргуліса, в рідині біля поверхні розділу з кавітаційною бульбашкою утворюється подвійний електричний шар;
- у своїй роботі Дегройс і співавтори обґрунтовують світловий спалах утворенням електричних зарядів на стінці бульбашки і, як наслідок, пробоем через газову фазу бульбашки в момент змикання [3].

На жаль, не можна однозначно стверджувати істинність перерахованих вище теорій. В [2, 6] досить докладно наводяться причини цього.

Теплову теорію виникнення свічення при кавітації можна назвати основною, в першу чергу, через неодноразове спростування [2] наявності високих температур в бульбашці яка змикається, проте списувати її з рахунків поки що рано.

Спочатку теплову теорію запропонували в [15], згідно з цією теорією сонолюмінесценція є тепловим випромінюванням газів, які розжарюються в результаті адіабатичного стиснення при змиканні кавітуючих бульбашок. Температура всередині такої бульбашки може досягати величин 10^4 К. Випромінювання, за припущенням авторів [15], являється випромінюванням чорного тіла.

До прихильників теплової теорії виникнення сонолюмінесценції можна віднести Гордєєва і Сербінова [15, 16]. При проведенні серії експериментів з вивчення збудження вибуху в рідких вибухових речовинах в [16] встановлено, що ініціювання вибуху кавітацією відбувається не при розширенні, а саме при закритті кавітаційної порожнини у вибуховій рідині. Грунтуючись на отриманих результатах, автори [15, 16] зробили висновок, що причиною виникнення світлової емісії при сонолюмінесценції є теплові процеси, що виникають при кавітації.

Саслік зі співробітниками і Барбер при проведенні експериментів з вивчення СЛ вуглеводнів виявили у випромінюванні смуги Свана. Відзначимо, що причина інтенсивного випромінювання смуг Свана символами вогню вуглеводнів до сих пір не цілком досліджена. Але в разі полум'їв вищих вуглеводнів і особливо в разі ацетилену, прийнято вважати, що має місце термічний розпад (крекінг) вуглеводню. Саслік з співробітниками, провівши аналіз отриманих спектрів, одержали оцінку коливальних і обертальних збуджень, і зробили припущення про значення ефективної температури 3000 К– 5000 К [7].

Пізніше Саслік наводить більш точну оцінку максимальної температури і тиску в кавітаційній бульбашці, розраховуючи спектри випромінювання сонолюмінесценції. В результаті одержали температуру близько 5000 К і тиск приблизно 1000 атм. Безпосередньо Саслік схиляється до теплової теорії походження емісії світла, проте подібні температури і тиски можливі і в разі електричної природи виникнення [3].

Нолтінг і Непайрас висунули теорію гарячої плями, згідно з якою при адіабатичному змиканні кавітаційної бульбашки всередині неї розвиваються температури порядку 10^4 К, і зробили припущення, що емісія світла від змикаючої бульбашки є рівноважним випромінюванням чорного тіла [3].

Були запропоновані й інші варіанти теплової теорії. Відповідно до гіпотези Гріффінга, свічення в воді виникає при рекомбінації радикалів H^+ , OH^- , що утворилися при термічній гомолітичній дисоціації води. Джарман розглядав змикання кавітаційної бульбашки як мікроскопічну ударну трубу, в якій при стисненні бульбашки ударні хвилі фокусуються, і свічення має бути термічним. Можливість збудження термоядерних реакцій в бульбашці сонолюмінесценцією висловлюється авторами, також є і спростовуючі дану можливість статті [7].

Низкою авторів відзначаються істотні відмінності між явищами ББСЛ і ОБСЛ. Вперше на даний факт звернули увагу Барбер і Патерман. У своїх

роботах вони вказують, що тривалість спалаху світла при ОБСЛ дуже мала, ОБСЛ і ББСЛ мають різні види спектрів, причому в разі однобульбашкової кавітації спектр може збігатися з відповідним спектром свічення чорного тіла. В роботі температура в пульсуючій бульбашці була визначена як 25000–50000 К. Також встановлено, що емісія світла відбувається в момент, коли радіус колапсуючої бульбашки мінімальний. Проте основним питанням, як і в випадку з ББСЛ, є визначення природи свічення – теплової або електричної. Можливо, що три основних факти говорять на користь теплової теорії, а саме:

- тривалість спалаху у ОБСЛ на два порядки менше, ніж у ББСЛ;
- відмінність спектрів ББСЛ і ОБСЛ, причому у ОБСЛ спостерігається збіг знятих спектрів з відповідним спектром абсолютно чорного тіла;
- виникнення ОБСЛ в сферичних камерах, що симетрично коливаються, де бульбашка, що коливається, має симетричну форму, тому докази електричної теорії, ґрунтовані на складній формі бульбашки при ББСЛ в даному випадку застосувати важко [3].

Тривалість соновспалаху при ОБСЛ визначена низкою авторів і коливається від 12 пс до 350 пс [3]. Найбільш точно визначити тривалість одпобульбашкового спалаху вдалося Гомпфу. Розподільча здатність вдосконаленої реєструючої системи з двома ФЕП становило 30 пс. Проведені виміри показали, що в залежності від звукового тиску і концентрації газу в системі час спалаху складає різні значення. Так, наприклад, для ОБСЛ слабкої інтенсивності тривалість соновспалаху склала 100 пс, а при звуковому тиску 1,25 атм і концентрації кисню 3,3% – 260 пс. Подібні тривалості спалахів дуже малі в порівнянні з тривалістю спалахів при ББСЛ. Так, наприклад, експериментально було отримано, що тривалість світлового імпульсу ББСЛ в 180 разів більше, ніж при ОБСЛ [7]. Подібні

експериментальні дані дозволяють віднести ОБСЛ до самостійного фізичного процесу.

Спектр, отриманий Барбером (ОБСЛ), мав ряд особливостей, які не властиві спектру ББСЛ. Отриманий спектр виявився суцільним без змісту емісійних смуг. Автори прийшли до висновку, що експериментально отриманий спектр свідчить на користь теплової теорії виникнення свічення, так як він найбільш близький за формою до спектру абсолютно чорного тіла, що дозволяє зробити висновок про температуру всередині одиночної бульбашки 37000 К [3], якщо розраховувати температуру по спектру випромінювання чорного тіла.

1.2 Гідролюмінесценція

Ефект гідролюмінесценції вперше був виявлений Константиновим в 1947 році [8]. При плоскому обтіканні водою твердого тіла (круглих циліндрів) в плоскому каналі спостерігалось свічення позаду циліндрів, при сильно розвиненій гідродинамічній кавітації. Пізніше в 1964 році Джарман і Тейлор спостерігали свічення в трубці Вентурі, виконаної з пластика. В якості робочої рідини використовувалася вода [3].

Пізніше, в 1966 році, Петерсон і Андерсон, використавши трубу Вентурі з кварцу, також пропустили через неї воду, вивчаючи вплив розчинених газів на інтенсивність свічення. Але достовірно визначити джерело емісії світла і досліджувати його в роботах авторам не вдавалося. Причиною тому було те, що свічення з'являлося короткочасно в різних точках досліджуваного потоку [3].

Систематизувати і отримати стійке випромінювання світла, що піддається дослідженню, вдалося групі вчених під керівництвом Маргуліса в

1990 році [6]. У 2009 році Маргуліс і Пільгунов [1] виявили виникнення електричного потенціалу при протіканні діелектричної рідини через тонкий прохідний отвір діелектричного каналу.

Виникнення емісії світла при гідродинамічних ефектах (ГЛ), виявлене в 1947 р. [8] і в 1990 р. [6], має різний характер. Константинов в 1947 році проводив експериментальне дослідження свічення в кавітуючому струмені, Колдамасовим в 1990 році виявлено свічення при перебігу через дифузор. Також Колдамасовим виявлено свічення і в кавітуючому струмені, але основним об'єктом вивчення воно не було [6].

Принциповою відмінністю відкриттів Константинова і Колдамасова є природа їх виникнення. Теоретично можна провести аналогію з сонолюмінесценцією і умовно розділити процес гідроломінесценції на два: інтенсивна гідроломінесценція і гідроломінесценція в кавітаційному струмені (аналогічно ББСЛ і ОБСЛ). Інтенсивна гідроломінесценція з'являється при протіканні діелектричних рідин через вузький канал, зазвичай її можна спостерігати неозброєним оком. Гідроломінесценція в кавітаційному струмені з'являється при обтіканні рідиною перешкод і спостерігається в кавітуючій області після перешкоди. Надалі мова піде виключно про інтенсивну гідроломінесценцію.

Відкритим залишається питання подібності явищ сонолюмінесценція і гідроломінесценція. Наприклад в [17] встановлено багато загальних закономірностей сонолюмінесценції і гідроломінесценції, де, зокрема, проведені експерименти по виявленню залежностей інтенсивності свічення від швидкості потоку і температури рідини виявили ряд загальних закономірностей, властивих для сонолюмінесценції (в разі сонолюмінесценції інтенсивність свічення залежить від звукового тиску, аналогія зі швидкістю потоку) і гідроломінесценції. Автори [17] визначали інтенсивність свічення багатоканальним амплітудним аналізатором імпульсів.

В експерименті використовувалася звичайна і солоня вода, оскільки відомо, що інтенсивність сонолюмінесценції в солоній воді більше, ніж у звичайній. Така ж залежність, тільки для ефекту гідролюмінесценції, спостерігалася авторами [17]. Було також висловлено припущення про можливість виникнення D-ліній Na в потоці гідролюмінесценції (які спостерегаються при сонолюмінесценції), проте спектри свічення не були отримані, і достовірно судити про це припущення передчасно. Також було виявлено, що при тривалій роботі гідродинамічного контуру, ефективність гідролюмінесценції знижується, що, можливо, обумовлено частковою дегазацією рідин.

Температурна залежність рівня сонолюмінесценції при гідродинамічній кавітації представлена на рис. 1.1. Дослідження проводилися при швидкості обтікання 23–24 м/с. В процесі вимірювань було встановлено, що максимальна інтенсивність свічення спостерігалася при мінімальній температурі, що, в свою чергу, також було інтерпретовано як підтверджуючий фактор спорідненості явищ сонолюмінесценції та гідролюмінесценції.

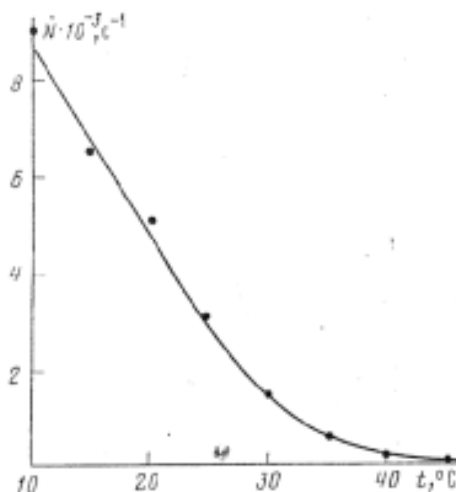


Рисунок 1.1 – Температурна залежність рівня сонолюмінесценції при гідродинамічній кавітації [17]

В [17] зробили висновок, що основні досліджені фактори: температура, наявність розчинених солей, швидкість потоку рідини (аналог інтенсивності ультразвуку), – впливають на рівень свічення, що виникає при гідродинамічній кавітації, так само як і на сонолюмінесценцію при ультразвуковій кавітації.

Разом з тим низкою авторів проведені експерименти і теоретичні викладки, які, навпаки, свідчать про відмінності ефектів сонолюмінесценції та гідролумінесценції. Наприклад в [5] обговорюється механізм гідролумінесценції, який істотно залежить від наявності стінок каналу і тому принципово не переносимий на сонолюмінесценцію.

В [5] наводяться гідродинамічні властивості гідролумінесценції (залежність виникнення інтенсивності свічення від товщини каналу і швидкості потоку (рис. 1.2)), докладно представлена експериментальна установка і наведене теоретичне обґрунтування виникнення свічення індустриального масла, що прокачується через вузький канал діаметром 1,5 мм.

Теоретично було доведено, що в рамках електрогідродинамічної моделі середовища відбувається поділ зарядів в тонкому електродифузійному прикордонному шарі, внаслідок чого на межі поділу генеруються сильні електричні поля, достатні для виникнення автоелектронної емісії зі стінки каналу і виникнення свічення рідини, що рухається через вузький канал. Було висловлено припущення, що це відбувається внаслідок прилипання електронів до молекул з позитивним електронним спорідненням.

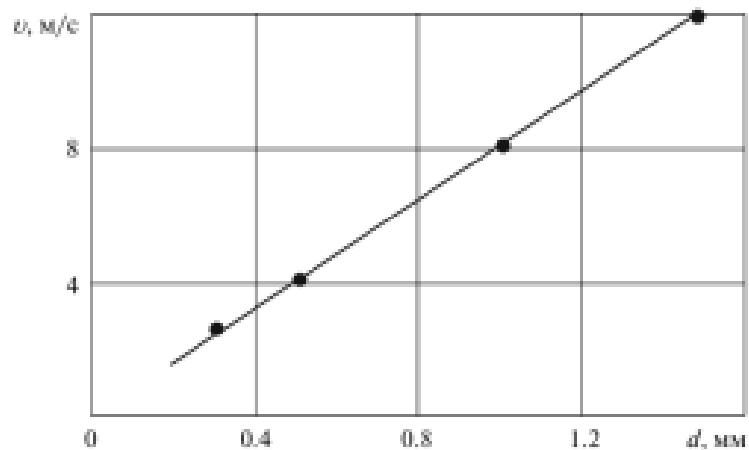


Рисунок 1.2 – Межа виникнення свічення рідини в залежності від товщини каналу і швидкості потоку [5]

Авторами [5] виконано серії експериментів, в яких проводилася реєстрація свічення фотоелектронним помножувачем, яка показала, що електропровідність рідини істотно впливає на електризацію і, відповідно, на інтенсивність свічення. Свічення у вигляді спалахів відбувається і при постійному тиску, однак інтенсивність свічення зростає при різких пульсаціях швидкості.

Також на користь електричної теорії висловлювалися Маргуліс і Пільгунов [18]. Схема установки, на якій проводилися експерименти, представлена на рис. 1.3. Мінеральне масло марки Шелл в'язкістю $\nu 60-20\text{сСт}$ з бака 1 ємністю 40 л насосом 2 подається в дросель 3 з прозорого полірованого оргскла, а з нього повертається в бак 1. Тиск на вході в дросель регулюється вентилем 4. Цифрова відеокамера реєструє гідролюмінесценцію з частотою кадрів $50\ldots 2000\text{ с}^{-1}$ у відбитому світлі або світлі, що проходить і при дуже слабкому освітленні. Діаметр циліндричного прохідного отвору 1 мм. Відношення довжини вузької частини прохідного отвору до його зовнішнього діаметра 0,5. Таким чином, дросель, по суті, аналогічний шайбі.

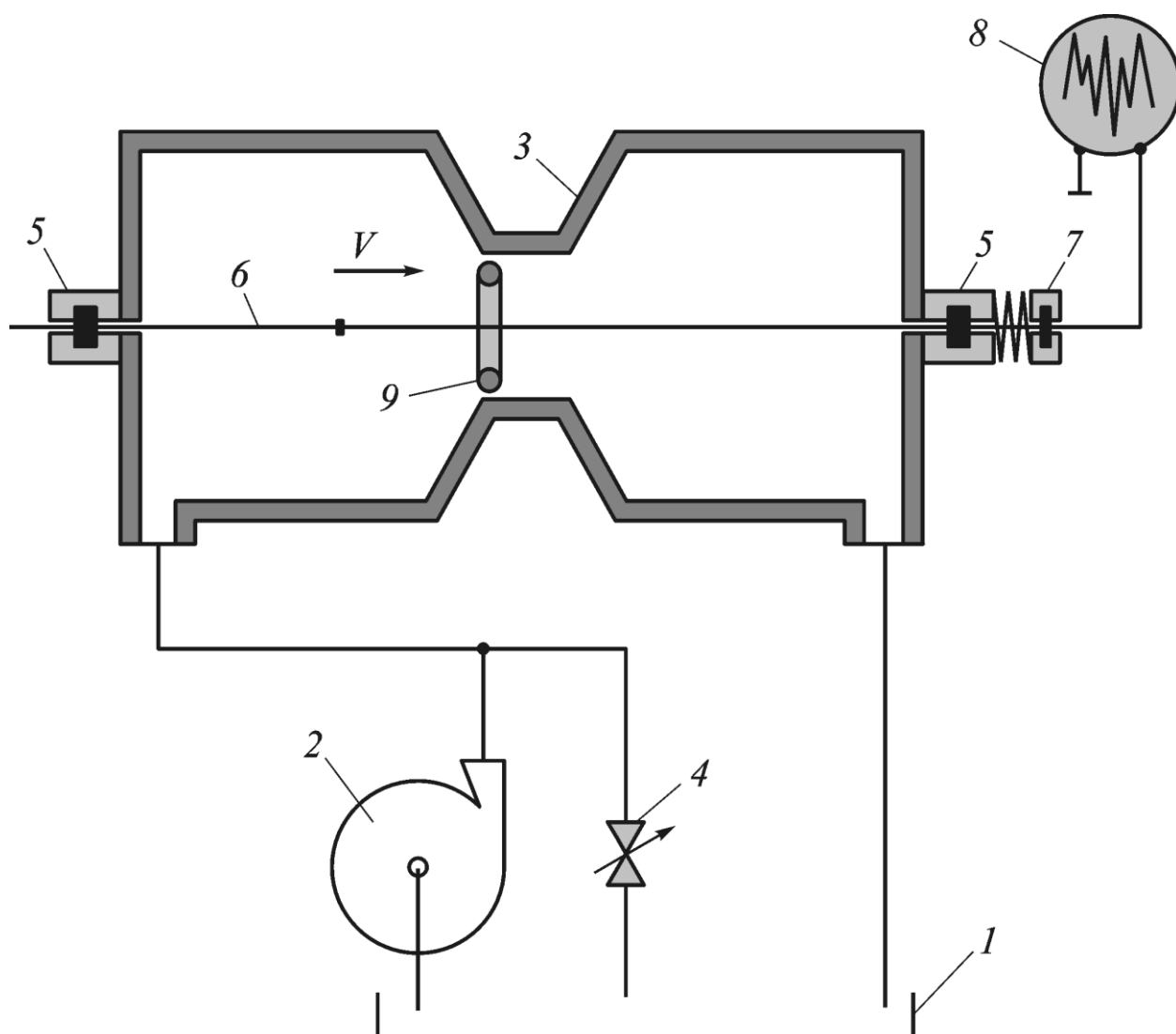


Рисунок 1.3 – Схема експериментальної установки [18]

З метою з'ясування ролі електричних ефектів проводилася безперервна реєстрація електричного потенціалу в рідині. Для цього через фторопластові ізолюючі втулки 5, встановлені по центру потоку, протягнута струна з ніхромового емальованого дроту 6 діаметром 0,05 мм, яка підтримувалася в натягнутому стані за допомогою тяги 7. Локальна зачистка тонкої смуги емалевої ізоляції струни довжиною близько 0,1 мм утворювала "мітку", за допомогою якої вимірювалося переміщення місця електричного контакту струни і забезпечувався електричний контакт з рідиною. Лінійне положення "мітки" визначалося з точністю $\sim 0,1$ мм. Електричний потенціал в окремих перерізах потоку, зондований зачищеною поверхнею ізолюваної струни,

реєструвався електронним осцилографом С1-83 8 з розгорткою 1 мкс/поділ і чутливістю 1 мВ/поділ.

Таким чином, струна не збуджувала потік рідини, вона не торкалася стінки прохідного отвору і при переміщенні її уздовж осі потоку здійснювалося безперервне сканування електричного потенціалу, який міг виникати в рідині. Спеціальний демпфуючий пристрій запобігав виникненню коливань струни.

При роботі гідродинамічної установки було виявлено синьо-фіолетове свічення в мінеральному маслі, що виникає в прохідному отворі діаметром 1 мм в прозорому дроселюючому пристрої при тиску на вході більше 2 МПа, яке з нерухомого локалізованого малого обсягу було досить інтенсивним і його можна було спостерігати не адаптованим до темряви оком в незатемненій кімнаті. У зв'язку з цим виявлений ефект може з'явитися унікальним об'єктом для всебічного дослідження гідродинамічної кавітації, сонолюмінесценції та інших процесів.

Досить зазначити, що відкриття однобульбашкової кавітації [18], при якій єдина кавітаційна бульбашка пульсувала і випромінювала світло в фіксованому малому обсязі кавітаційного поля (однобульбашкова сонолюмінесценція), привернуло до цього об'єкта пильну увагу численних дослідників.

Істотним результатом даної роботи є виявлення електричного потенціалу, який виникає при протіканні діелектричної рідини через тонкий прохідний отвір. Виявлено численні електричні імпульси. Спектр частот електричних імпульсів мав нижню межу 3 кГц з розмахом сигналу до 1000 мВ [18].

Цікавим є той факт, що електричні імпульси фіксувалися ще до утворення видимих кавітуючих струменів і розвиненого гідродинамічного свічення. Спостережуване свічення було зафіксовано в області з найбільшою швидкістю потоку, а не в області кавітуючих струменів.

Автори [18] вказують, що причиною виникнення потенціалу і свічення можуть бути електрокінетичні ефекти, які виникають внаслідок утворення подвійного електричного шару на внутрішній поверхні прохідного отвору. Таким чином, емісія світла була інтерпретована як виникнення електричних пробоїв всередині бульбашок, що утворилися на внутрішній кромці прохідного отвору і пов'язаних з нею, де міцність при електричних пробоях значно нижче, ніж міцність пробоїв бульбашок у рідині.

Відзначимо, що більшість авторів, які досліджували гідродинамічну кавітацію, однозначно висловлювалися на користь «електричної» теорії.

Як було сказано раніше, в [8] Константинову вдалося домогтися свічення в кавітуючому струмені, при обтіканні циліндрів водою, тобто вдалося спостерігати гідролюмінесценцію виключно в кавітуючому струмені, де відсутній вплив «стінок каналу» або обтічних предметів. Природу процесів, що протікають в експерименті, автор вважав за електричну, хоча безпосередніх доказів автентичності цієї теорії не наводиться.

Теплову теорію гідролюмінесценції запропонував Колдамасов [4], вказуючи у своїй статті, що джерелом свічення є плазмовий згусток, що утворився з середньою температурою 10^4 К.

Колдамасовим [4] проводилися дослідження кавітуючої діелектричної рідини. Експерименти проводилися на установці, представленій на рис. 1.4. Робоча рідина за допомогою шестеренного насоса під тиском до 7 МПа подавалася в камеру з органічного скла на вхід дросельного пристрою, що представляє собою канал довжиною 25–30 мм і діаметром у вузькому перерізі 1–2 мм.

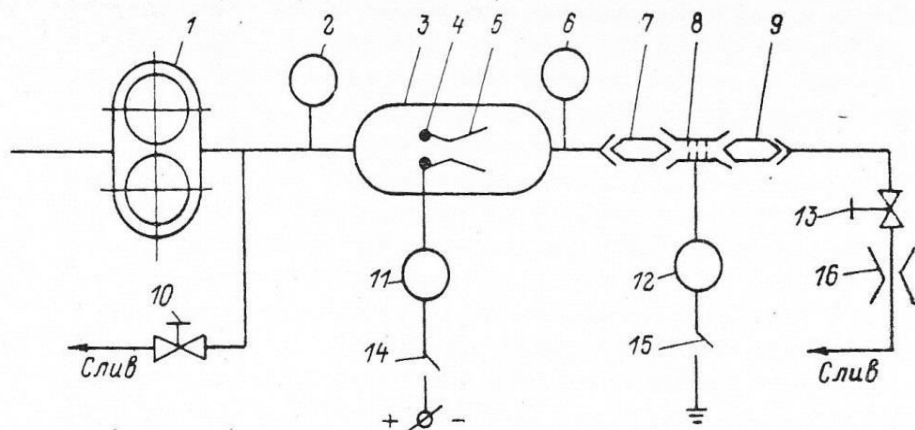


Рисунок 1.4 – Схема експериментальної установки [4]:

1 – шестеренний насос; 2,6 – манометри; 3 – приймальня камера; 4 – плазменне утворення; 5 – дросельний пристрій; 7,8, 9 – прохідний діелектричний штуцер; 10,12,13 – вентиль; 11 – електростатичний вольтметр; 12 – гальванометр; 14,15 – вимикач; 16 – витратомір

Регулюючи частоту пульсації потоку рідини зміною числа обертів насоса, а тиск за допомогою перепускного каналу, в системі отримували потужні резонансні коливання потоку з частотою близько 5 кГц. При цьому на вхідний кромці по периметру дроселюючого каналу з'являлося плазменне утворення, яке за яскравістю нагадує дуговий розряд.

Після 100 годин роботи вхідна кромка дросельного пристрою змінювала колір, проте помітної ерозії каналу не спостерігалось. Вимірювання та оцінка параметрів показали, що зовнішній діаметр плазмового кільця навколо дросельного каналу досягав 5–6 мм, щільність енергії 10^4 К.

Надзвичайною екзотичною гіпотезою сонолюмінесценції, яка привернула велику увагу, є енергетична гіпотеза Казимира, запропонована відомим фізиком Джуліаном Швінгером і більш докладно розглянута в статті Клаудії Еберлейн з Університету Сассекса.

Воно засноване на розгляді змін вакуумного стану електромагнітного поля в бульбашці в процесі швидкої зміни форми останньої, з точки зору, близькою до тієї, що застосовується зазвичай при описі ефекту Казимира.

Наприклад, коли розглядається вакуумний стан електромагнітного поля в плоскому конденсаторі, залежно від граничних умов, визначених пластинами.

Якщо це вірно, то сонолюмінесценція – перший приклад, в якому прямо експериментально спостерігається випромінювання, пов'язане зі зміною вакуумного стану.

Досліди Талеярхана, проведені в 2002 і 2005 рр. з використанням дейтерованого ацетону, показали що він зміг досягти в сонолюмінесцентному спалаху температур порядку мільйонів кельвінів, спостерігаючи при цьому продукти термоядерної реакції. Підтвердження результатів цих експериментів дозволило б отримати компактний термоядерний реактор. Проте, досліди були визнані неякісними, і були висловлені сумніви щодо повідомлення про наукове відкриття автора. Ця доповідь втратила інтерес серед наукової спільноти [3].

Ситуація, однак, залишається спірною і вимагає подальшого дослідження.

Висновки до розділу:

Отже, найбільша кількість результатів експериментальних і теоретичних робіт вказує, що процеси гідродинамічної люмінесценції мають електричну природу походження, але також є ряд робіт, в яких наводяться аргументи на користь теплової теорії.

Останнім часом розрізняють явища сонолюмінесценція (емісія світла рідиною при впливі на неї ультразвуковими хвилями, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних звуковими або ультразвуковими коливаннями) та гідролюмінесценція (емісія світла рідиною, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних гідродинамічними ефектами).

						31

Сонолюмінесценція буває багатобульбашковою та однобульбашковою свічення якої є стабільніше і інтенсивніше.

В свою чергу гідроломінесценцію поділяють на інтенсивну і гідроломінесценцію в кавітаціоному струмені. Інтенсивна гідроломінесценція з'являється при протіканні діелектричних рідин через вузький канал, зазвичай її можна спостерігати неозброєним оком. Гідроломінесценція в кавітаціоному струмені з'являється при обтіканні рідиною перешкод і спостерігається в кавітуючій області після перешкоди.

						32

2 ЦІЛІ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Головною метою магістерської дисертації є вивчення природи соно- і гідролюмінесценції, для чого необхідно було розробити і створити експериментальну установку, що дозволяє в лабораторних умовах реалізувати явища сонолюмінесценції і гідролюмінесценції, з подальшою можливістю проведення серій експериментів з дослідження даних явищ.

Представлена робота спрямована на вивчення процесу виникнення кавітаційних явищ і експериментальне дослідження гідродинамічної кавітації, що супроводжується гідролюмінесценцією.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

- Розробити та створити експериментальну установку, що дозволить проводити експериментальне вивчення соно- і гідролюмінесценції.
- Розробити методики проведення експериментів з вивчення явищ соно- і гідролюмінесценції.
- Провести аналіз отриманих експериментальних даних.

Наукова новизна цієї роботи полягає в тому, що отримана серія успішних експериментів дозволяє прояснити механізми ряду ефектів, важливих для розуміння явищ сонолюмінесценції і гідролюмінесценції.

Зокрема, вивчення отриманого спектра випромінювання гідролюмінесценції і подальше визначення коливальних та обертових температур дозволили провести аналіз гідролюмінесценції і зробити припущення, що дане явище має електричну теорію виникнення. Також підтверджують цю теорію отримані результати експериментів по вимірюванню спектрів гамма-випромінювання і потужності еквівалентної дози. В області вивчення сонолюмінесценції підтверджується теорія

утворення подвійного електричного шару на електродах, занурених в рідину під час сонолюмінесценції.

Практична цінність результатів роботи обумовлена пошуком достовірної теорії виникнення явища сонолюмінесценції. Отримані результати сприяють глибшому розумінню досліджуваних явищ і створюють основу для розробки експериментально обґрунтованої теорії походження явищ сонолюмінесценції і гідролюмінесценції, що позитивно впливає на впровадження даних явищ в технологічні процеси.

Актуальність вивчення також обумовлена широким використанням діелектричних трубопроводів при подачі вуглеводневих та інших рідин до різних технічних пристроїв. Надалі можливе застосування даних процесів в хімії, у фармацевтичній промисловості і при створенні ефективних способів обробки поверхонь рідинами.

Достовірність отриманих результатів досягається за допомогою застосування в експериментах сучасної вимірювальної апаратури. Надійність експериментальних даних підтверджується аналізом помилок, детальним опрацюванням методик вимірювання та відтворюваністю досліджуваних явищ.

Висновки до розділу:

Таким чином, головною метою магістерської дисертації є вивчення природи соно- і гідролюмінесценції. Для цього була розроблена і виготовлена експериментальна установка, яка дозволяє в лабораторних умовах реалізувати явища сонолюмінесценції і гідролюмінесценції, з подальшою можливістю проведення серій експериментів з дослідження даних явищ.

						34

Наукова новизна цієї роботи полягає в тому, що отримана серія успішних експериментів дозволяє прояснити механізми ряду ефектів, важливих для розуміння явищ сонолюмінесценції і гідролюмінесценції.

Актуальність вивчення також обумовлена широким використанням діелектричних трубопроводів при подачі вуглеводневих та інших рідин до різних технічних пристроїв.

Надалі можливе застосування даних процесів в хімії, у фармацевтичній промисловості і при створенні ефективних способів обробки поверхонь рідинами.

						35

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

3.1 Опис експериментальної установки

Для експериментальних досліджень моделі гідродинамічного кавітатора був розроблений експериментальний стенд, схема якого (рис. 3.1) містить гідроагрегат, що забезпечує потік Q_1 і дозволяє встановлювати тиск p_1 на вході в кавітатор (HDC). Тиск контролюється манометрами $M1$ і $M2$. Можливість реєстрації змін тиску під час роботи кавітатора (на виході) забезпечується за допомогою аналогового датчика тиску (PT). Витрата вимірюється об'ємним способом з використанням вимірювального контейнера ($F2$), а також аналогового датчика потоку – турбінного витратоміра ($F1$). Для вимірювання характеристик потоку на стенді була встановлена аналогова термопара – датчик температури, занурений безпосередньо в робочу рідину на виході з гідродинамічного кавітатора. Всі аналогові датчики були підключені до плати за допомогою мікроконтролера Atmega328 (MCU), який, в свою чергу, був запрограмований для отримання і обробки даних від датчиків через АЦП і записи кожні 10 секунд на комп'ютер (PC) в програмі Microsoft Excel. Всі пристрої підключені до блоку живлення (PS).

Для візуального дослідження використовувалася цифрова відеокамера ($Camera$) з частотою зйомки 120...1000 кадрів в секунду.

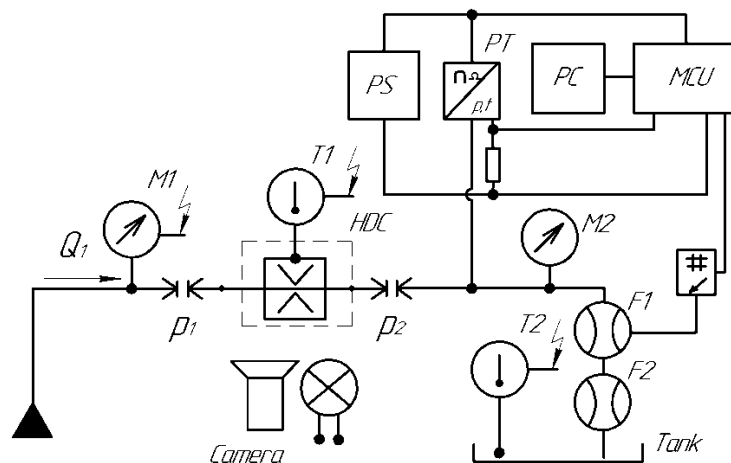


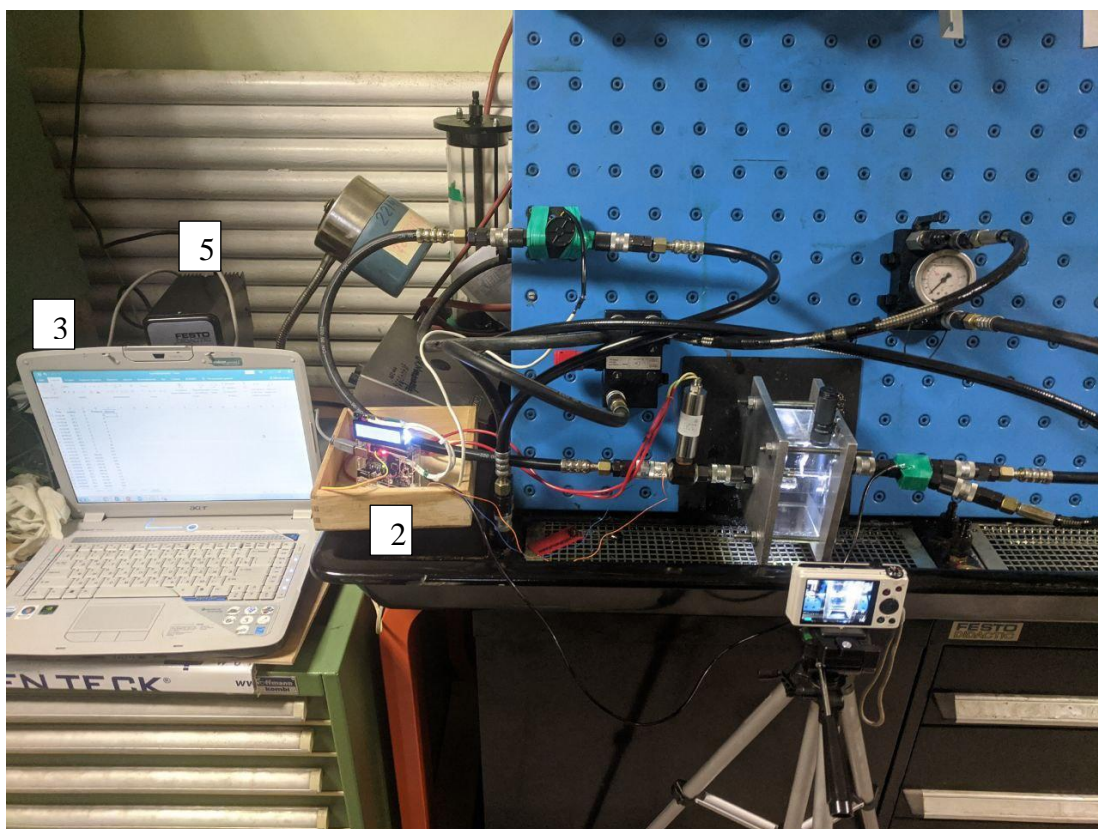
Рисунок 3.1 – Принципова схема експериментального стенду для дослідження гідродинамічної кавітації

Принцип дії експериментальної установки полягає в наступному. Спочатку досліджувана рідина (масло І-40А) пропускається через масляний фільтр, тим самим очищаючись від стружки і металевої тирси, які можуть пошкодити робочу ділянку. Потім по шлангу рідина потрапляє в насос високого тиску. Насос високого тиску приводиться в дію за допомогою трифазного асинхронного мотора через ремінну передачу.

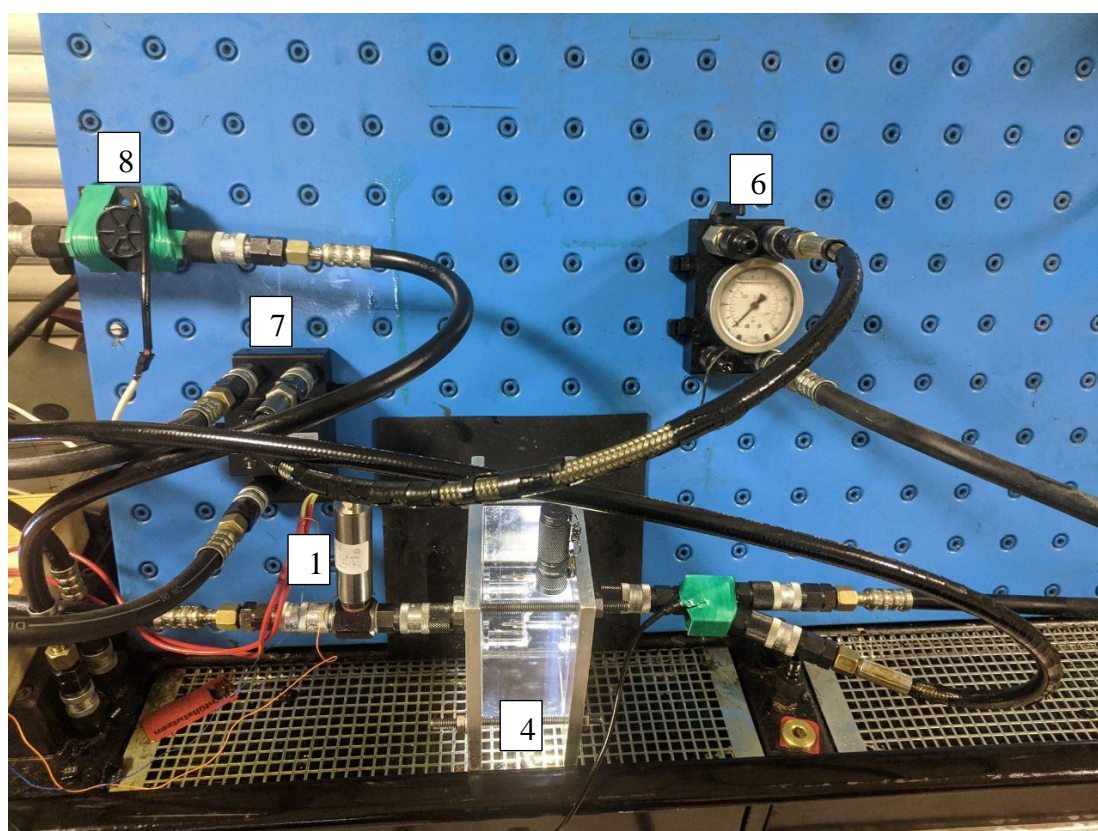
Малогабаритний векторний перетворювач частоти E2-8300 використовувався для регулювання частоти обертання трифазного асинхронного мотора і, як наслідок, частоти обертання шестеренного насоса, що в свою чергу дозволяло створювати різний тиск досліджуваної рідини в робочій ділянці. На виході з шестеренного насоса рідина потрапляє в робочу ділянку по шлангу високого тиску, після робочої ділянки рідина зливається назад в заливний бак-резервуар.

Перед експериментом датчики температури і тиску калібровані еталонною термопарою і манометром, а цифровий витратомір калібрований еталонним об'ємним витратоміром.

Зовнішній вигляд експериментального стенду показаний на рисунках 3.2 А,Б.



А



Б

Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд експериментального стану:

1 – датчик тиску; 2 – мікроконтролер; 3 – РС; 4 – гідродинамічний кавітатор; 5 – блок живлення; 6 – манометр; 7 – запобіжний клапан; 8 – витратомір; 9 – гідроагрегат

В експериментах по вивченню ефекту гідролюмінесценції використовувалося індустріальне масло I-40A. Індустріальне масло I-40A – дистилятне або суміш дистилятного із залишковим з сірчистої і малосірчистої нафти селективного очищення цих масел, основні параметри наведені в таблиці 3.1. Дане масло було використано, тому що воно не шкодить шестеренним насосам, і, як наслідок, дозволяє проводити експерименти неодноразово.

Таблиця 3.1 – Фізичні властивості масла І-40А

Параметр	Значення
В'язкість кінематична при 40°C, мм ² /с,	min 61–75
Температура спалаху в відкритому тиглі, °C,	min 210
Температура застигання, °C,	max -15
Кислотне число, мг КОН/1 г масла,	min 0,05
Зольність, %,	max 0,005
Щільність, кг/м ³ при 20 °C	900

3.2 Дослідження явищ кавітації та гідролюмінесценції

Постановка задачі. Відповідно до [19] для деяких процесів необхідно визначити характер і умови виникнення кавітаційних процесів, що супроводжуються гідролюмінесценцією.

Інтенсивність кавітації оцінювали з використанням графічного редактора, визначаючи середньозважений рівень яскравості пікселів зображення, отриманий множенням кожного рівня яскравості на кількість

пікселів даного рівня, а потім поділивши на загальну кількість рівнів яскравості.

Для вивчення кавітаційних процесів була створена модель гідродинамічного кавітатора з регульованим отвором (рис. 3.3).

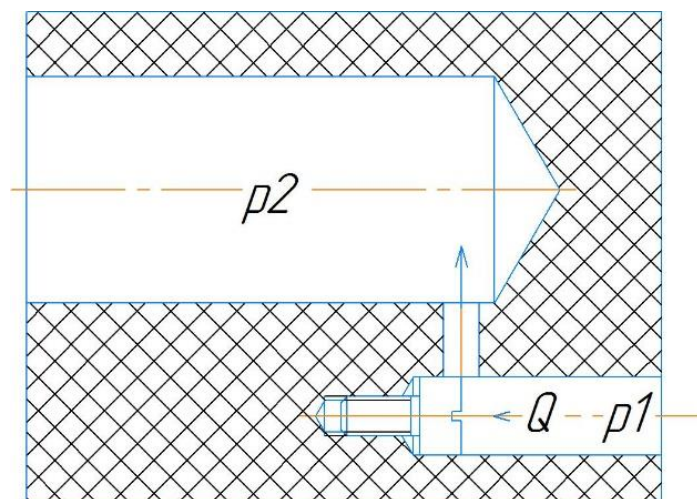


Рисунок 3.3 – Гідродинамічний кавітатор з регульованим отвором

Елемент, керуючий поперечним перерізом – гвинт виконаний з різних матеріалів (рис. 3.4).

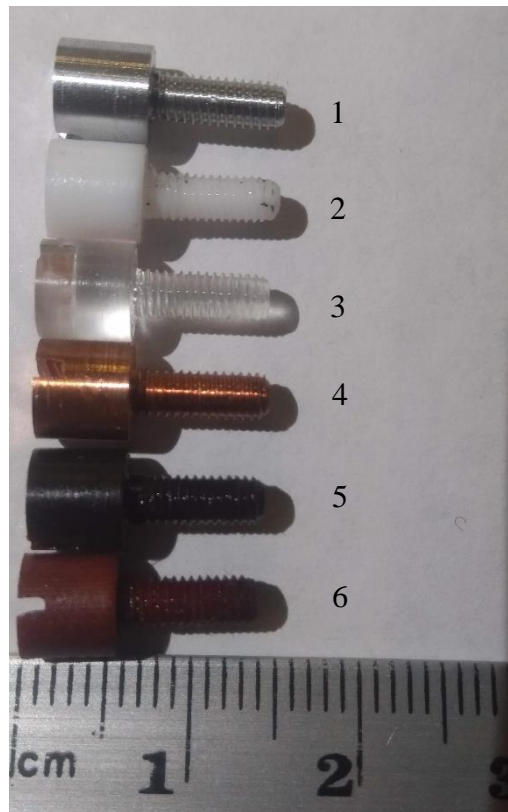


Рис. 3.4 – Регулюючий гвинт:

1 – дюраль; 2 – фторопласт; 3 – поліметилкрилат; 4 – мідь; 5 – ебоніт; 6 – текстоліт

Рідина прокачується під високим тиском крізь вузький регульований гвинтом отвір (діаметр близько 1 мм) робочої ділянки, виготовленої з оргскла. В рідині, що рухається в потоці, з ростом вектора швидкості починають з'являтися кавітаційні бульбашки, розмір яких збільшується зі збільшенням перепаду тиску.

Пройшовши через зону розрідження, в зоні високого тиску утворені бульбашки миттєво зникають, що викликає появу потужних сферичних хвиль і кумулятивних струменів, які призводять до ерозійного руйнування матеріалу стінок каналу та появи активних акустичних процесів (рис. 3.5).

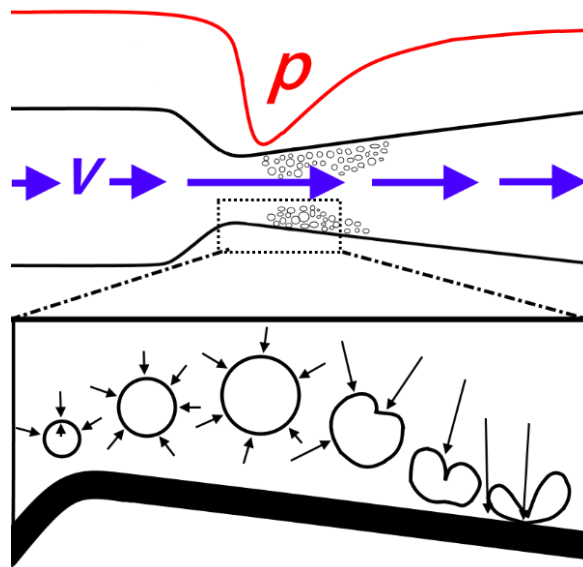


Рисунок 3.5 – Виникнення кавітації в області стиснення потоку

Візуально вдалося простежити процес зародження і розвитку кавітаційної зони аж до моменту гідролюмінесценції [19-23]. Окрім масла І-40А, дослідження процесу кавітації проводилося також для мінерального масла категорії Н-LP і вітчизняного мінерального масла «Леол М20», в останньому кавітація в потоці була більш інтенсивною. Випромінювання світла не спостерігалось. Можна припустити залежність світлового випромінювання від властивостей основи мінерального масла, кількості і типу газу, води, тиску його насичених парів і складу пакету присадок.

При швидкості потоку більше 40 м/с візуально кавітація має яскраво виражений вигляд з добре сформованим кавітаційним факелом і появою світлового випромінювання (рис. 3.6). Крім появи кавітаційних бульбашок, спостерігалось, що у вузькому каналі були світлові ефекти. Випромінювання світла спостерігалось при перепаді тиску 1,8 МПа і проявлялось у вигляді іскор, які виникали уздовж центральної частини каналу вниз за течією.

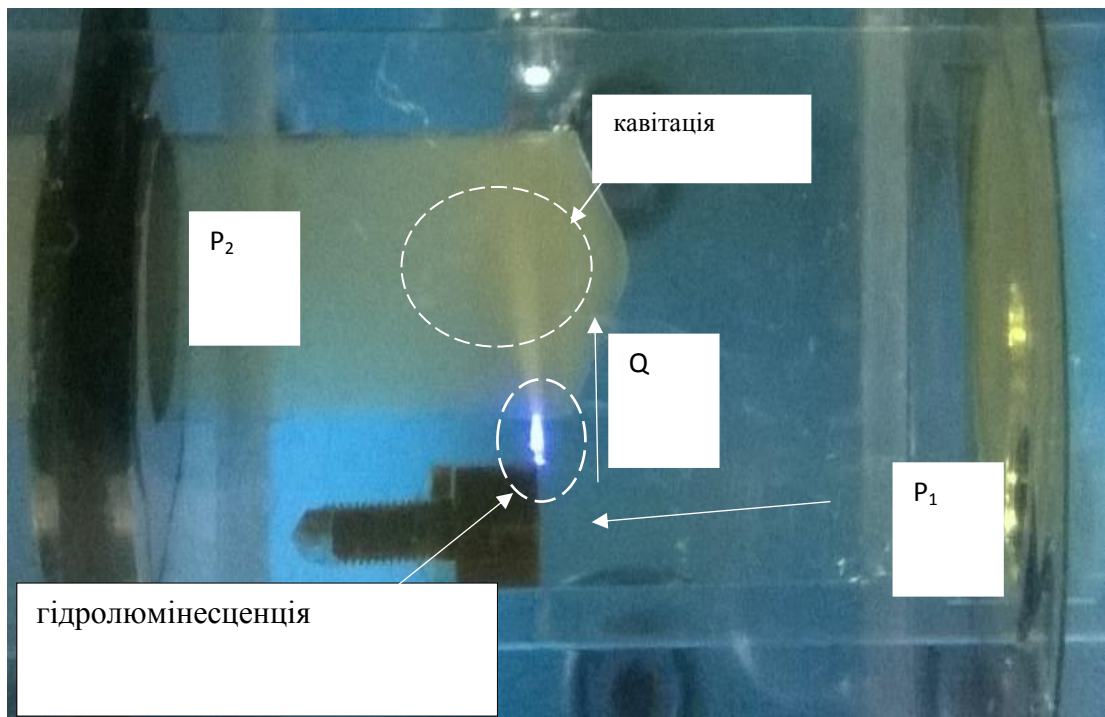
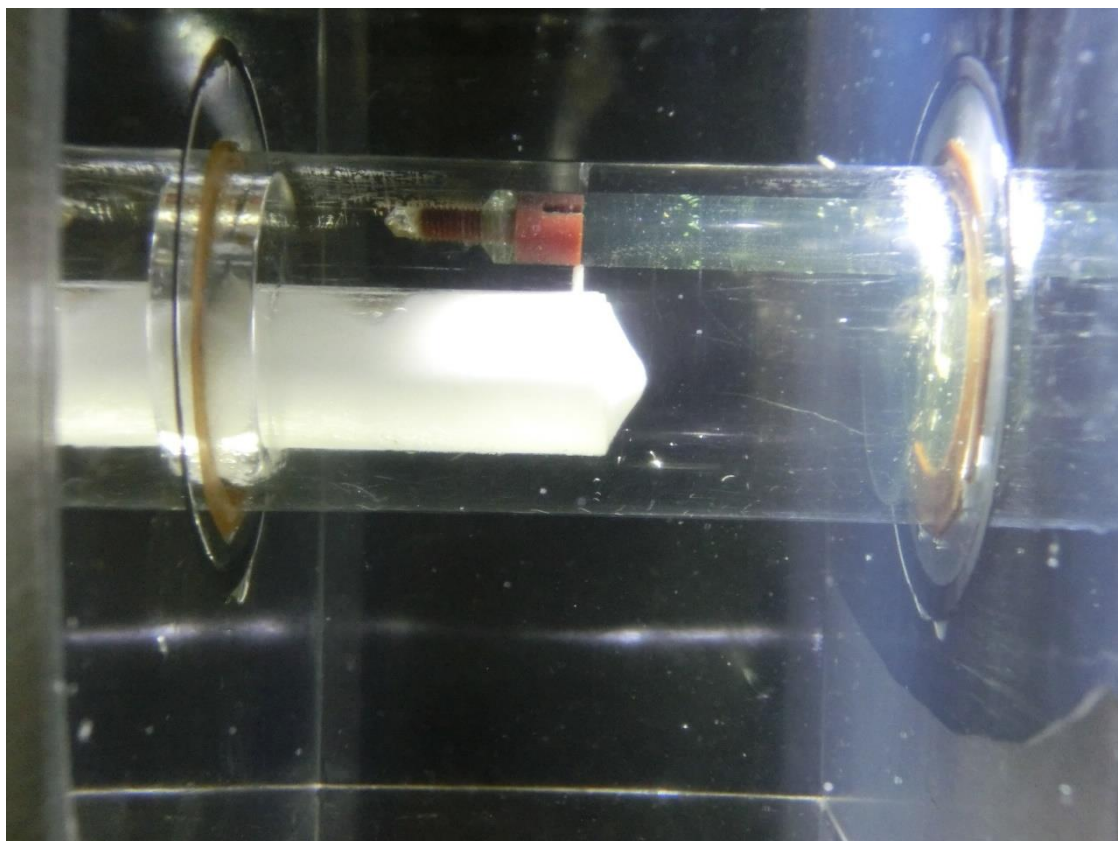


Рисунок 3.6 – Візуалізація виникнення кавітації ($t = 50^{\circ}\text{C}$, перепад тиску, $(P_1 - P_2) = 4 \text{ МПа}$, витрата, $Q = 1,1 \text{ л/хв}$, діаметр дроселя, $d = 0,6 \text{ мм}$)

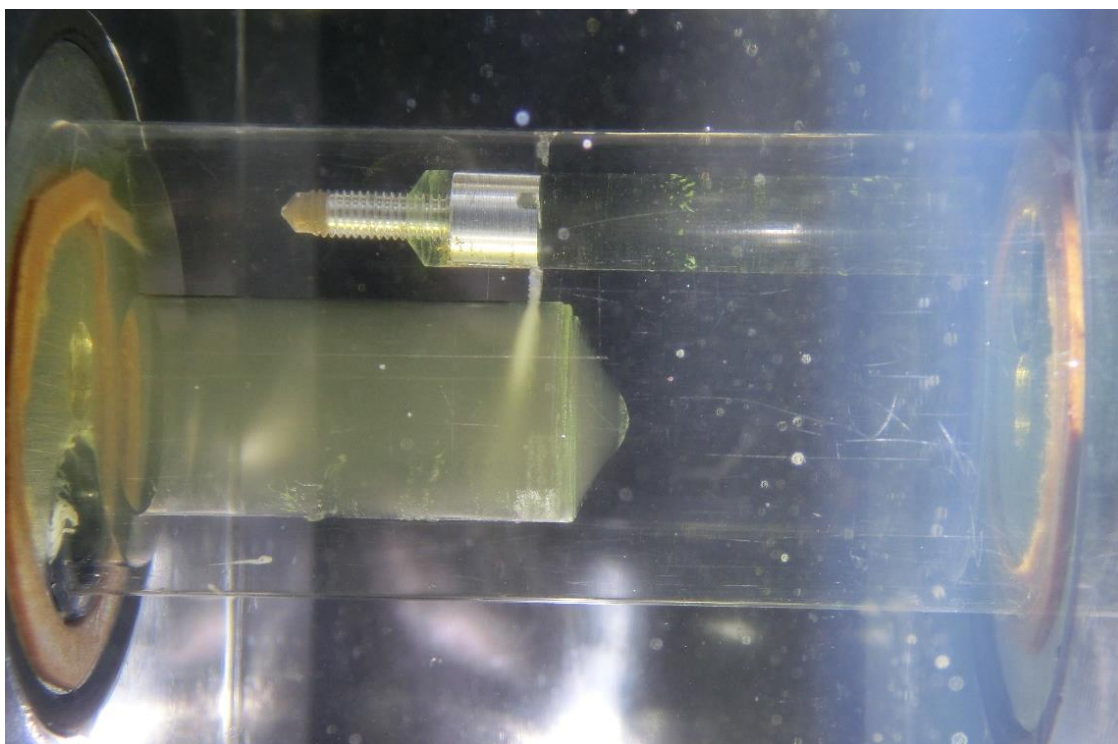
Масло прокачується під високим тиском крізь вузький регульований гвинтом отвір (діаметр близько 1 мм) робочої ділянки, виготовленої з оргскла. При вхідному тиску $\sim 3\text{--}4 \text{ МПа}$ в каналі спостерігається стійке свічення (див. рис. 3.6). Воно носить пульсуючий характер. Пульсації, по всій видимості, мають гідродинамічну природу.

При пропущенні потоку масла через дросель відбувалася гідродинамічна кавітація, а при подальшому підвищенні тиску – локалізоване синьо-фіолетове свічення з рідини (у видимій області спектра).

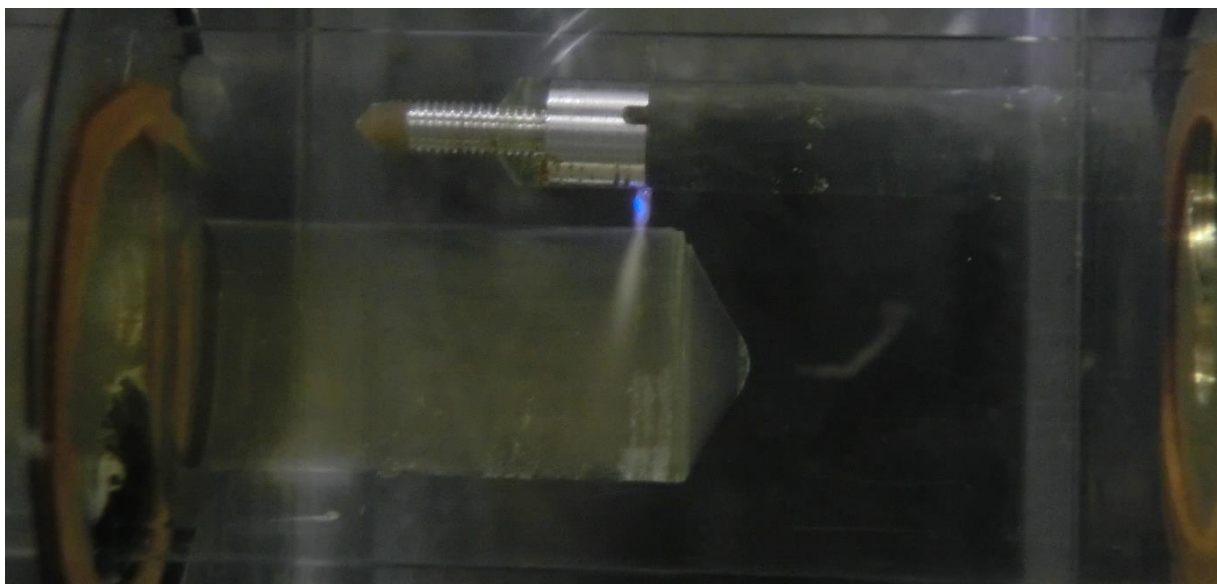
Експеримент проводився з регулюючими гвинтами з різних матеріалів. Змінюючи параметри робочої рідини у всіх випадках вдавалося домогтися стійкої гідродинамічної люмінесценції, хоча і були в кожному випадку індивідуальні особливості свічення (рис. 3.7 А, Б, В, Г).



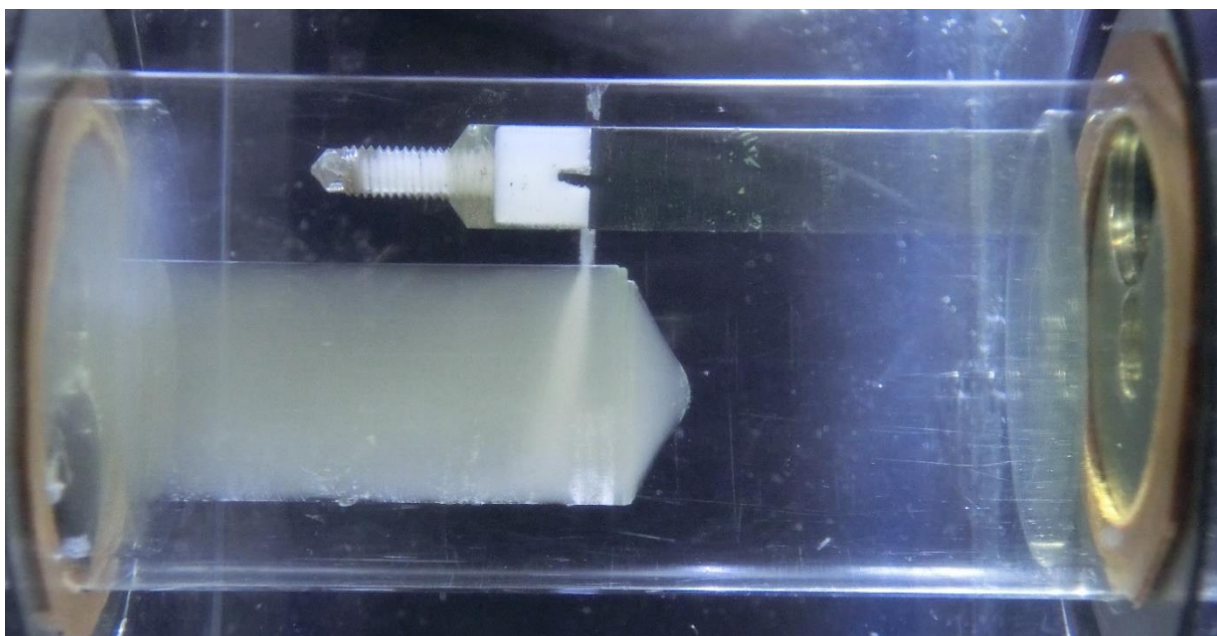
А



Б



В



Г

Рисунок 3.7 – Гідродинамічна люмінесценція в залежності від матеріалу гвинта:

А – текстоліт; Б – поліметилкрилат; В – дюраль; Г – фторопласт

Свічення виявилось досить інтенсивним, причому його інтенсивність сильно залежала від багатьох, часто не цілком ясних факторів. Можна відзначити основні етапи процесів, що відбуваються.

1. При пропущенні через дросель потоку масла під тиском до 1 МПа ніяких видимих змін не відбувається і рідина залишається прозорою.
2. При підвищенні тиску перед дроселюючим пристроєм до 1,5 МПа безпосередньо біля входу в прохідний отвір утворюється досить тонкий шар

мікробульбашок, локалізованих на внутрішній поверхні прохідного перетину (приєднана кавітація). Цей шар кавітаційних бульбашок на фотографії в світлі видно як тонка чорна смужка.

3. При підвищенні тиску перед дроселюючим пристроєм до 2 МПа безпосередньо біля входу всередині прохідного отвору відзначені короточасні (тривалістю 1–2 с) спалахи синьо-фіолетового свічення гідролюмінесценції. На виході з отвору розвивається факел кавітаційних бульбашок, поступово заповнюючий всю вихідну камеру, але ця частина кавітаційних бульбашок ніколи не ініціювала гідролюмінесценцію.

4. У міру підвищення тиску перед кюветою до 2,5 МПа частота спалахів гідролюмінесценції збільшується, а при досягненні тиску 3...3,5 МПа гідролюмінесценція свічення стає безперервним, стійким, і подальше підвищення тиску лише ненабагато збільшує його інтенсивність. При спостереженні процесу в уповільненому режимі (зображень, отриманих при швидкісний відеозйомці) видно, що гідролюмінесценція не є безперервним світлом, а здійснюється частими несинхронізованими, випадковими спалахами.

5. Після досягнення тиску 3 МПа спостерігається поступове зближення приєднаної кавітації (в звуженні дроселя) з факелом кавітаційних бульбашок у вихідній частини дроселюючого пристрою (розвиток суперкавітації), причому приєднана кавітація і факел бульбашок просторово розділені. При встановленні режиму суперкавітації, коли факел кавітаційних бульбашок заповнює всю випускную область дроселюючого пристрою і зникається з областю приєднаної кавітації, свічення з незрозумілих причин раптово припиняється, незважаючи на високий тиск в системі. Важливо не тільки те, що навіть при максимальному тиску (4...5 МПа) потік масла в центральній області прохідного перетину кювети залишається прозорим і вільним від бульбашок.

6. При поступовому зниженні тиску до 2 МПа в лівій вхідній камері дроселюючого пристрою інтенсивність свічення поступово зменшується, проте залишається стійким навіть при тисках, при яких на початку роботи виникали дуже рідкісні спалахи свічення. Таким чином, при вивченні гідролюмінесценції виявляється гістерезис процесу світлових спалахів (рис. 3.8). Свічення починається при більш високих перепадах тиску в дроселюючому пристрої і залишається стабільним до більш низьких тисків. Це можна пояснити тим, що в процесі перекачування масла утворені в результаті кавітації мікробульбашки, які є зародками кавітації, не встигають повністю видалятися з системи. Масло, що містить велику кількість досить стійких мікробульбашок, природно характеризується меншою кавітаційною міцністю. При циркуляції масла в результаті його потрапляння на вхідний перетин прохідного отвору виникає гідродинамічна кавітація при менших розтягуюючих напруженнях.

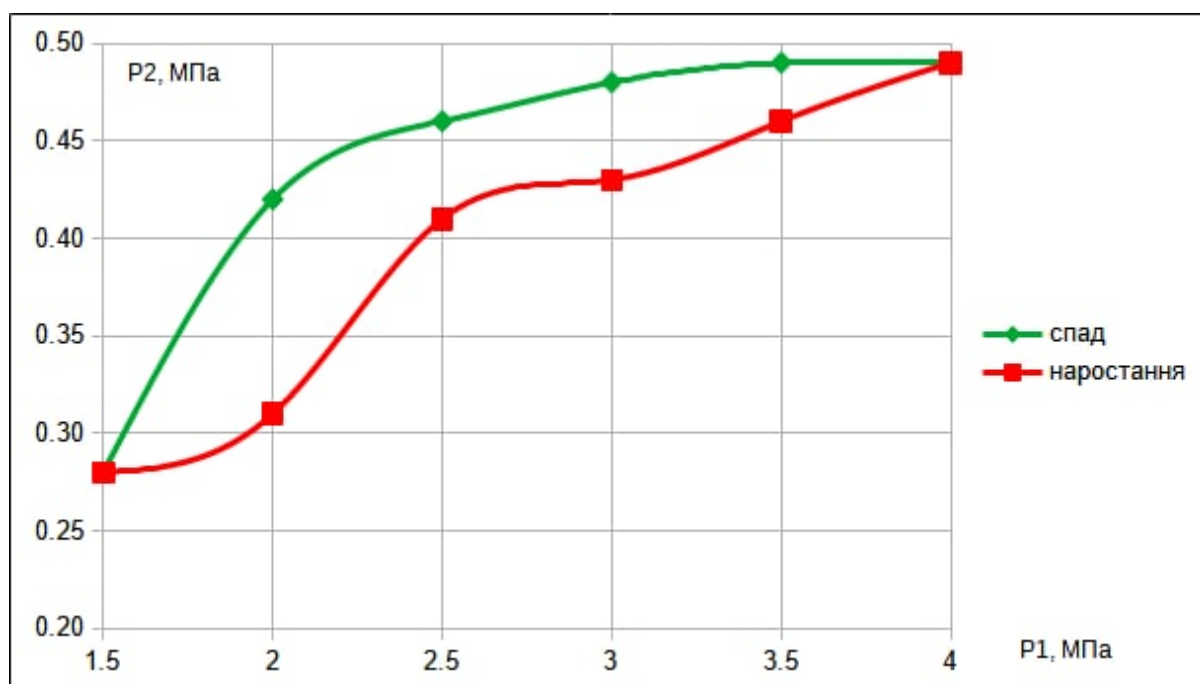


Рисунок 3.8 – Гістерезис свічення гідролюмінесценції (початок і припинення емісії світла відповідає різним тискам в системі)

Коефіцієнт витрати робочої рідини через сопло визначався за формулою:

$$\mu = \frac{Q_a}{Q_t},$$

де Q_a – фактична швидкість потоку; Q_t – теоретична швидкість потоку.

Щоб запобігти кавітації або використовувати її на певному рівні, пропонується створити конструкцію гідродинамічного кавітатора, який буде автоматично регулювати швидкість потоку в дроселях і підтримувати необхідну кількість кавітаційних чисел для обліку використання термочутливого елемента.

Висновки до розділу:

Таким чином, розроблено стенд, що дозволяє відстежувати процеси гідродинамічної кавітації і враховувати таку особливість: при наявності розвиненої кавітації спостерігається гідролюмінесценція.

Експериментальні дослідження дозволили встановити, що температура робочого тіла істотно впливає на характеристики потоку газу. Встановлено межі виникнення гідролюмінесценції.

Експеримент проводився з регулюючими гвинтами з різних матеріалів. Змінюючи параметри робочої рідини у всіх випадках вдавалося домогтися стійкої гідродинамічної люмінесценції, хоча і були в кожному випадку індивідуальні особливості свічення.

Зроблено припущення залежності світлового випромінювання від властивостей основи мінерального масла, кількості і типу газу, води, тиску його насичених парів і складу пакету присадок.

						48

Виявлено гістерезис свічення гідролюмінесценції, тобто початок і припинення емісії світла відповідає різним тискам робочої рідини в системі.

						49

4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РІДИННО-ГАЗОВОГО ЗМІШУВАЧА

Наступним етапом експерименту було запропоновано вивчити явище гідролюмінесценції при наявності в робочій рідині бульбашок інертного газу. Оскільки це явище спостерігається при високому тиску робочої рідини (масла), то процес додавання газу в неї викликає певні труднощі.

4.1 Вибір типу змішувача

Для незалежного і оперативного регулювання складової частки газу в рідинно-газової суміші пропонується використовувати ежекторний змішувач, який дозволяє додавати газ в робочу рідину навіть при атмосферному тиску.

Ежектори поширені в багатьох галузях промисловості: енергетичній, металургічній, машинобудівній, нафтовій, хімічній. Широке застосування ежектори отримали завдяки винятковій простоті конструкції, відсутності рухомих механічних частин, простоті їх виготовлення, високій надійності в роботі і низькій вартості.

Дія ежектора заснована на здатності високошвидкісного струменя рідини або газу ініціювати навколо себе рух навколишнього середовища (рідина, газ, твердий сипучий матеріал або їх суміші) і захоплювати його за собою. У ежекторі одночасно протікають два взаємопов'язані процеси: передача частини енергії від активного потоку до пасивного та їх змішування.

Тому, якщо ежектор в гідро-пневмосистемі є насосом-змішувачем, то його ефективність виявляється найвищою, так як з користю витрачається не тільки енергія пасивного потоку, а й залишкова енергія активного потоку.

						50

У багатьох виробництвах потрібне отримання двох- або багатокомпонентних сумішей, в яких частка однієї компоненти істотно менше частки іншої. Наприклад, створення водомазутної суміші в якості палива для теплоенергетики з метою зниження шкідливих викидів, додавання легуючих елементів в масло для отримання якісних мастильно-охолоджуючих рідин з потрібними характеристиками, в фармакології та медицині широко застосовуються суміші на основі води і малої кількості органічних масел.

Широке застосування процесу ежектування обґрунтовується наступними факторами: простотою самого пристрою та його технічного обслуговування, малим зносом внаслідок відсутності деталей, які труться, що обумовлює тривалий термін служби. Саме тому ежектування застосовується в багатьох складних технічних пристроях, таких як: хімічні реактори, системи дегазації та аерації, газотранспортні установки, системи сушіння та вакуумування, системи передачі теплоти, системи водопідготовки та водопостачання.

В усіх перелічених вище технологічних процесах пред'являються жорсткі вимоги до отримання суміші, а саме строго дозована кількість домішок, які вносяться в середовище, що несе, і їх ретельне гомогенізування. Для отримання таких сумішей можна використати ежектор, в якому активний потік (високонапірний) є середовищем (наприклад, рідина), що несе, а пасивний потік (середовище, що ежектується) – необхідні для отримання суміші добавки. Застосування ежектора в якості насоса-змішувача дозволить отримати високоякісні суміші з рідин, газів, багатофазних середовищ (газ-рідина) і твердих сипучих матеріалів.

При цьому якщо поєднати роботу ежектора-змішувача з кавітацією в його проточній частині, то можна отримати найбільш якісні суміші, які мають високу однорідність і стійкість до розшарування [24].

За основу можна взяти ежектор, який часто використовується в системах водопостачання, а саме для дозування газового реагенту (частіше за все хлор) у водоводи. На рис. 4.1 представлена типова конструкція такого ежектора. Він складається з лінії подачі ежектуючого потоку (води), яка представлена конусоподібним соплом 1, яке з'єднується з приймальною камерою 2 (робоча камера) і камерою змішення 4. У робочу камеру 2 подається газоподібний хлор, що ежектуюється, через вхідний пристрій 3. Дифузور 5 подає підготовлену хлорну воду у водоводи [24].

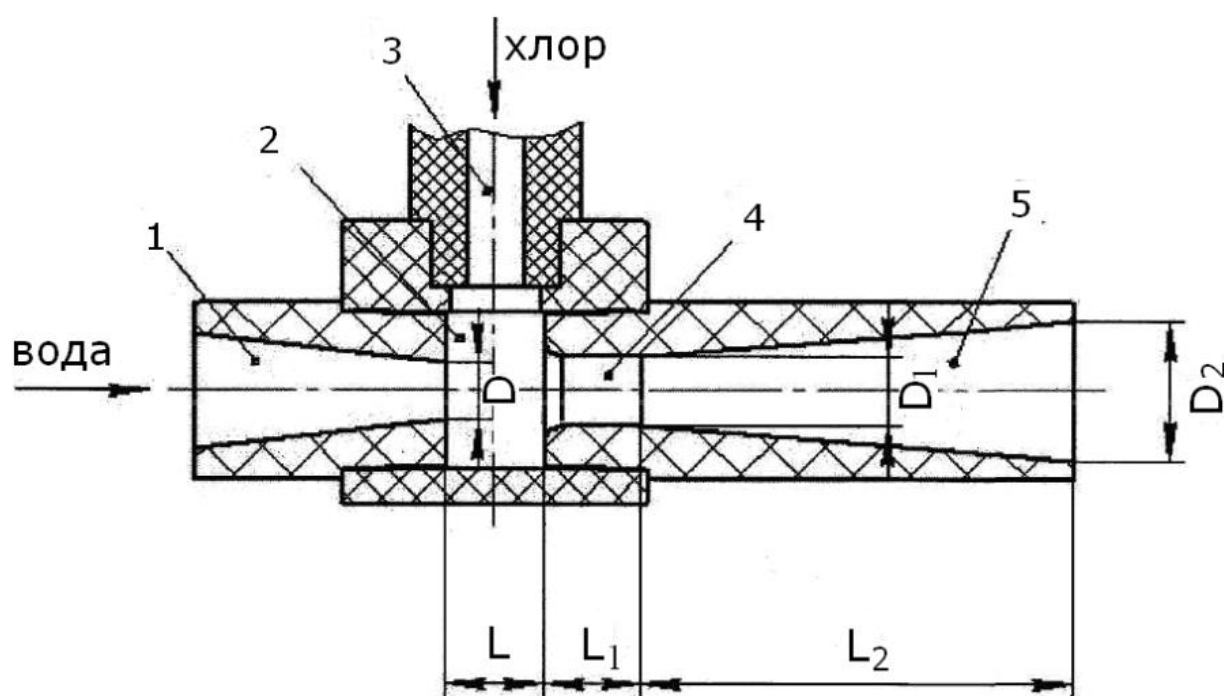


Рисунок 4.1 – Ежектор для дозування газоподібного хлору в воду [24]

На початку камери змішування струмінь робочої рідини поширюється в супутньому потоці газу. Швидкість течії рідини вище швидкості течії газу, і з цієї причини частина рідини розбивається на дрібні краплі.

В камері змішування, нижче по потоку, відбувається інверсія фаз, і утворюється суміш газових бульбашок і рідини. При русі цієї суміші вздовж камери змішування відбувається підвищення статичного тиску, газ

стискається, і швидкість течії суміші зменшується. Таким чином, стиснення газу в струменевому ежекторі-компресорі здійснюється шляхом стиснення газових бульбашок в потоці робочої рідини. Процес стиснення газу ізотермічний, що пов'язано з високою теплоємністю рідини. У дифузори швидкість течії зменшується, а статичний тиск зростає. Суміш робочої рідини і газу з дифузора відводиться далі в трубопровід.

4.2 Розрахунок ежектора-змішувача

Теоретична база рідинно-струйних компресорів була закладена в ряді загальноновизнаних робіт відомих вчених українського походження Л.Д. Бермана, Є.Я. Соколова та ін.

Відношення витрати ежектуючої рідини (Q_E) до витрати робочої рідини (Q_P) називається коефіцієнтом підмішування або ежекції – α . Коефіцієнт ежекції, що залежить від параметрів ежектора, лежить в досить широких межах від 0,5 до 2,0. Найбільш стійка робота водоструменевого насоса спостерігається при $\alpha=1$.

$$\alpha = \frac{Q_E}{Q_P}.$$

Коефіцієнтом напору ежекційного насоса β називається відношення повної геометричної висоти підйому (H) ежектуючого потоку рідини в метрах – це тиск на вході в ежектор до напору робочого потоку (h) в метрах – протivotиску.

$$\beta = \frac{H}{h}.$$

Важливим параметром, що характеризує ефективність роботи ежектора і також залежить від конструктивних параметрів пристрою є коефіцієнт корисної дії насоса. Як відомо цей коефіцієнт дорівнює відношенню корисно витраченої потужності ($H \cdot Q_{\text{э}} \cdot \gamma$ кГм/сек) до витраченої потужності ($h \cdot Q_{\text{р}} \cdot \gamma$ кГм/сек), тобто

$$\eta = \frac{H \cdot Q_{\text{э}} \cdot \gamma}{h \cdot Q_{\text{р}} \cdot \gamma} = \beta \cdot \alpha.$$

Таким чином, ефективність роботи ежекційного насоса визначається добутком коефіцієнтів напору і ежекції.

Основні характеристики ежектора визначають конструктивні особливості його перетину, причому ці особливості настільки принципові, що без технічних розрахунків і експериментальних проробок забезпечити ефективність роботи ежектора практично неможливо.

Відомі методи розрахунку ежекторів орієнтовані, головним чином, на розробку ежектора з високою продуктивністю (подачею) по ежектуємому середовищу [25–27]. У разі, коли потрібне отримання суміші з малими витратами ежектуємого середовища в порівнянні з витратою активного середовища, запропоновані методи розрахунку не застосовні.

Зробимо розрахунок струменевого ежектора-змішувача за методикою викладеної в [28], де розглядається базовий варіант струменевого ежектора з малими витратами ежектуємого середовища.

Геометрія проточної частини ежектора-змішувача показана на рис. 4.2. Там же зазначені характерні живі перерізи ($i = 0, 1, \dots, 5$) – межі окремих його елементів. Активний потік (рідке середовище) надходить в ежектор-змішувач через сопло, захоплюючи за собою пасивний потік (в нашому випадку газ) з приймальної камери, в центрі якої розташоване сопло. При цьому в

приймальній камері тиск знижується, що забезпечує приплив в неї пасивного середовища.

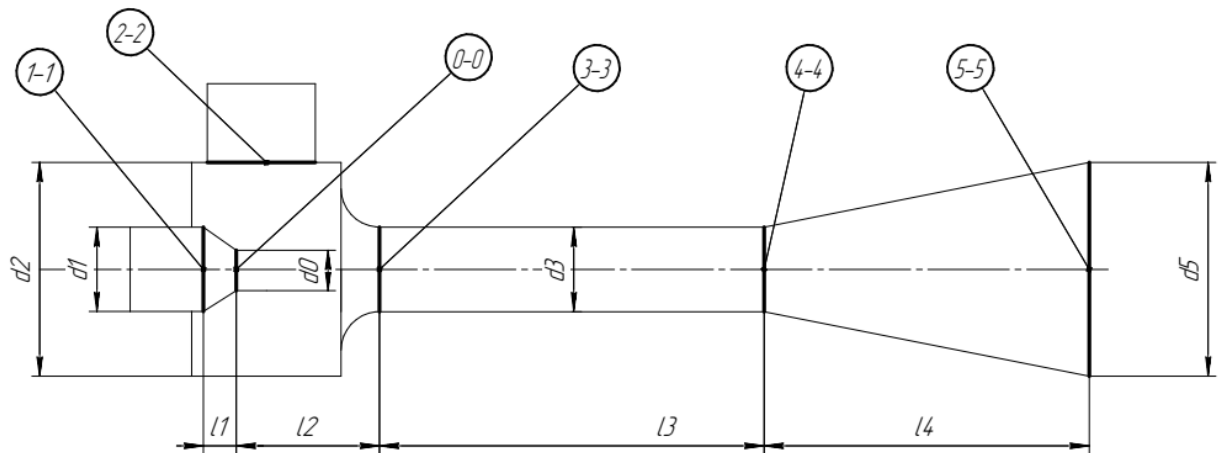


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема ежектора

Після енергообміну і змішування в циліндричній камері змішувача обидва потоки, пройшовши дифузор і підвищивши в ньому рівень потенціальної енергії за рахунок кінетичної, транспортуються на вхід експериментальної установки. На рис. 4.3 побудовані напірні лінії активного і пасивного потоків, які виражають зміну повного напору від одного перерізу до другого (X – поздовжня координата; Δh_c , Δh_{ex} , Δh_d – втрати напору всередині сопла, при вході пасивного потоку в камеру змішування і в дифузорі, відповідно).

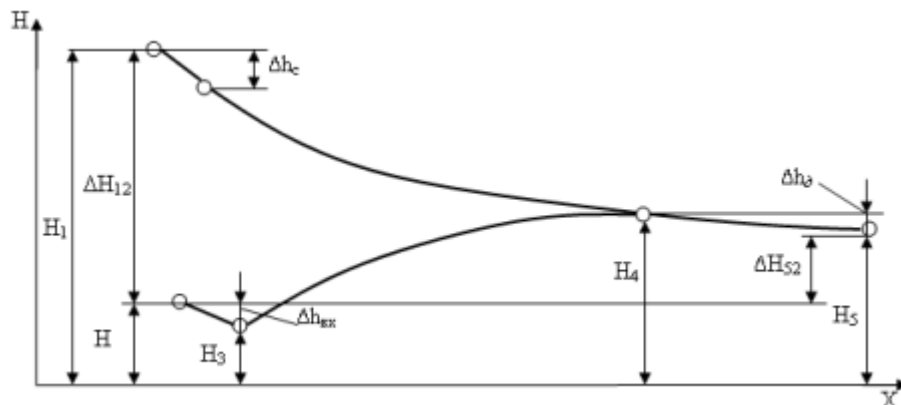


Рисунок 4.3 – Напірні лінії активного і пасивного потоків в ежекторі

Розрахункова модель робочого процесу рідинного ежектора-змішувача включає рівняння балансу витрат:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2. \quad (4.1)$$

Згідно Д. Бернуллі для активного потоку в сопловому пристрої (перетину 1–1 і 0–0), пасивного потоку в приймальній камері і входному розтрубі камери змішання (перетину 2–2 і 3–3) та потоку суміші в дифузорі (перетину 4–4 і 5–5) маємо:

$$H_1 = \frac{p_3}{\rho_a \cdot g} + (\beta_a + \xi_c) \cdot \frac{v_{31}^2}{2 \cdot g}; \quad (4.2)$$

$$H_2 = \frac{p_3}{\rho_{\text{п}} \cdot g} + (\beta_{\text{п}} + \xi_{\text{вх}}) \cdot \frac{v_{32}^2}{2 \cdot g}; \quad (4.3)$$

$$H_5 = \frac{p_4}{\rho_{\text{см}} \cdot g} + (\beta_{\text{см}} - \xi_{\text{диф}}) \cdot \frac{v_4^2}{2 \cdot g}. \quad (4.4)$$

Замикає розрахункову модель рівняння кількості руху, складене для контрольного відсіку рідини в камері змішання (перерізи 3–3 і 4–4):

$$p_3 \cdot A_3 - p_4 \cdot A_3 - \xi_{\text{тр}} \cdot A_3 \cdot \rho_{\text{см}} \frac{v_4^2}{2} = \beta'_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot Q_3 \cdot v_4 - \beta'_a \cdot \rho_a \cdot Q_1 \cdot v_{31} - \beta'_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot Q_2 \cdot v_{32} - \beta'_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot Q_2 \cdot v_{32}; \quad (4.5)$$

де Q_1, Q_2, Q_3 – витрати, відповідно активного, пасивного та потоку суміші;

H_i, p_i – напор і статичний тиск в i -му перетині ежектора;

v_{i1}, v_{i2}, v_i – швидкості активного, пасивного потоків і їх суміші в i -му перетині ежектора;

$\rho_a, \rho_{\text{п}}, \rho_{\text{см}}$ – щільності активного, пасивного середовища і суміші;

$\xi_c, \xi_{тр}, \xi_{диф}, \xi_{вх}$ – коефіцієнти опорів сопла, камери змішування, дифузора і входу в камеру змішування;

A_3 – площа нормального перетину камери змішування;

$\beta_a, \beta_{п}, \beta_{см}, \beta'_a, \beta'_{п}, \beta'_{см}$ – коефіцієнти кінетичної енергії і кількості руху, активного і пасивного потоків та їх суміші у відповідних живих перетинах.

Система рівнянь (4.1) – (4.5) дозволяє по відомим параметрам активного і пасивного потоків на вході в ежектор-змішувач знайти параметри потоку суміші на його виході і розрахувати характеристики апарату. На відміну від механічного насоса, робота якого характеризується, як правило, трьома параметрами: напір потоку на вході і виході насоса та його подача, робота ежектора характеризується шістьма параметрами: напорами і витратами активного, пасивного потоку та їх суміші. Тому прийнято ежектори досліджувати і розраховувати в безрозмірних координатах: відносний напір і відносна витрата (коефіцієнт ежекції).

$$h = \frac{H_5 - H_2}{H_1 - H_2}; \quad \alpha = \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (4.6)$$

Відносний напір змінюється $0 \leq h \leq 1$, а відносна витрата $0 \leq \alpha \leq (1 - \Omega)/\Omega$, де $\Omega = A_0/A_3$ – відносна площа сопла, змінюється в межах $0 \leq \Omega \leq 1$. Взаємозв'язок цих параметрів $h = f(\alpha, \Omega)$ є найважливішою безрозмірною характеристикою ежектора. Її аналітичний вираз виводиться на підставі вище наведених рівнянь (4.1) – (4.5) і виразів відносного напору і коефіцієнта ежекції (4.6):

$$h = \left[2 \cdot \Omega \cdot \left(\beta'_a + \frac{\Omega}{1 - \Omega} \cdot \beta'_{п} \cdot \delta \cdot \alpha^2 \right) - (\beta_{см} + \xi_{тр} + \xi_{диф}) \cdot (1 + \alpha \cdot \delta) \cdot \beta'_{см} \times \right. \\ \left. \times \Omega^2 \cdot (1 + \alpha) - (\beta_{п} + \xi_{вх}) \cdot \delta \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \Omega}{1 - \Omega} \right)^2 \right] \cdot \frac{1}{(\beta_a + \xi_c)}, \quad (4.7)$$

де $\delta = \rho_n / \rho_a$ – відносна щільність пасивного потоку.

З рівняння (4.7) видно, що відносний напір залежить від коефіцієнта ежекції, відносної площі сопла, відносної щільності пасивного потоку і гідравлічних коефіцієнтів.

Для визначення гранично досяжних значень параметрів робочого процесу ежектора-змішувача запишемо умову знаходження екстремуму (4.7) в наступному вигляді:

$$\frac{dh}{d\Omega} /_{\alpha=const} = 0. \quad (4.8)$$

Спільним рішенням рівнянь (4.7) і (4.8) для кожного значення α знаходимо оптимальне співвідношення відносної площі сопла Ω і гранично досяжний відносний напір h .

На рис. 4.4 наведені екстремальні характеристики ежектора, що виражають залежність гранично досяжного відносного напору і оптимальної відносної площі сопла від коефіцієнта ежекції. Характеристики розраховані при наступних значеннях відносної щільності $\delta = 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2$.

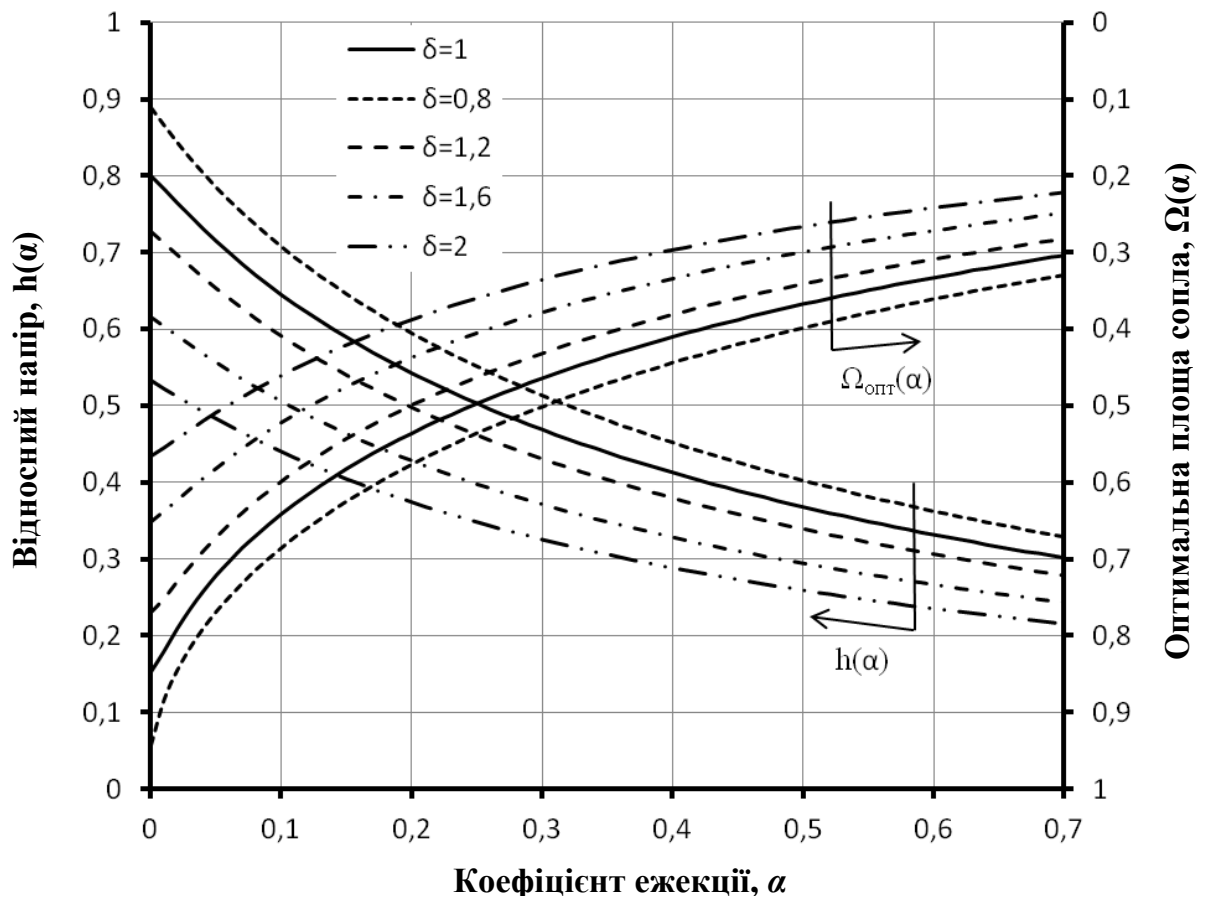


Рисунок 4.4 – Екстремальні характеристики ежектора при різних відносних щільностях змішуваних середовищ [28]

Порівняння кривих показує, що зі збільшенням відносної щільності пасивного потоку досяжні напори і оптимальна площа сопла знижуються. Екстремальні характеристики є ключовими для розрахунку ежектора-змішувача.

Постановка задачі. Необхідно отримати якісну масляно-газову суміш з тиском $p_5 = 15$ бар = 1,5 МПа і співвідношенням компонентів:

- несуче середовище – масло І-40А ($\rho_a = 900$ кг/м³) з витратою $Q_a = 2$ дм³/хв = $3,3 \cdot 10^{-5}$ м³/с;
- добавка – газ азот ($\rho_n = 15$ кг/м³) с $Q_n = 0,5 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

Запропоновано в якості насоса-змішувача використовувати ежектор, до якого підведення азоту здійснюється при тиску $p_2 = 1,3$ МПа. Потрібно розрахувати ежектор-змішувач, що забезпечує мінімальне енергоспоживання.

При заданій витраті активного потоку масла мінімальне енергоспоживання відповідає мінімальному тиску живлення p_l . Згідно з безрозмірними параметрами, мінімальному тиску живлення відповідає максимальне значення відносного напору h . Тому розрахунок ежектора-змішувача формуємо на екстремальних характеристиках.

Обчислимо коефіцієнт ежекції та відносну щільність змішуваних середовищ:

$$\alpha = \frac{Q_{\Pi}}{Q_a} = \frac{0,5 \cdot 10^{-5}}{3,3 \cdot 10^{-5}} = 0,15;$$

$$\delta = \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_a} = \frac{15}{900} = 0,017.$$

Звертаючись до екстремальної характеристики (див. рис. 4.4) звертаємо увагу, що для $\delta = 0,017$ необхідно перерахувати за формулою (4.7) і додати графіки $h(\alpha)$ (червоний) і $\Omega(\alpha)$ (зелений) на рис 4.5, так як представлені значення далекі від нашого випадку. Визначимо відносне підвищення напору на змішувачі $h=0,68$ і відносну площу сопла $\Omega=0,75$.

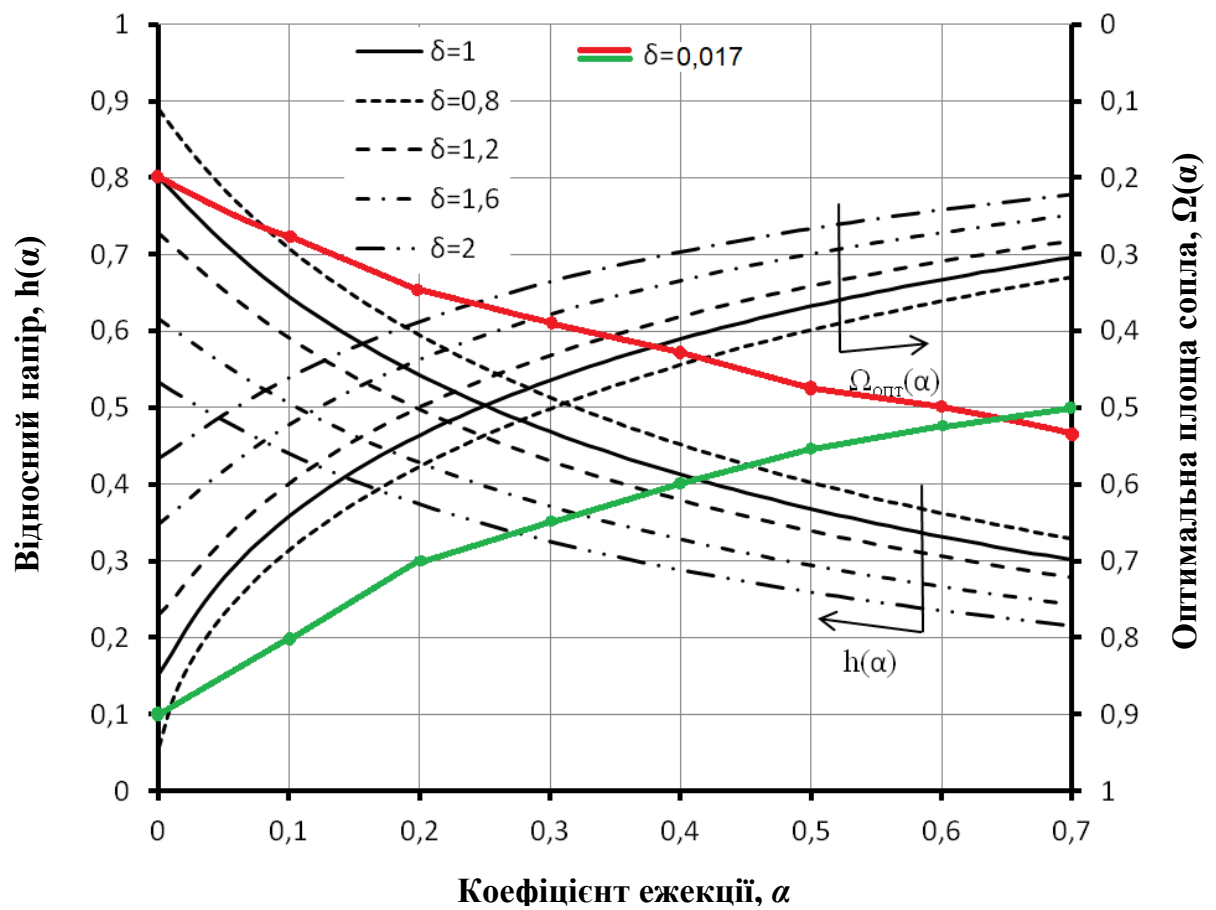


Рис.4.5 – Екстремальна характеристика ежектора

Приймаючи в першому наближенні $H_5 - H_2 = p_5 - p_2$ и $H_1 - H_2 = p_1 - p_2$, визначимо тиск живлення:

$$p_1 = \frac{p_5 - p_2}{h} + p_2 = \frac{(1,5 - 1,3) \cdot 10^6}{0,66} + 1,3 \cdot 10^6 = 1,6 \text{ МПа.}$$

З рівнянь (2) і (3) визначимо швидкість струменя при $\xi_c = 0,06$; $\xi_{ex} = 0,1$:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{12}}{\rho_a \cdot (1 + \xi_c - \delta \cdot (\frac{\alpha \cdot \Omega}{1 - \Omega})^2 \cdot (1 + \xi_{BX}))}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (1,6 - 1,3) \cdot 10^6}{900 \cdot (1 + 0,06 - 0,017 \cdot (\frac{0,15 \cdot 0,75}{1 - 0,75})^2 \cdot (1 + 0,1))}} = 25,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Площа вихідного перерізу і діаметр сопла:

$$A_0 = \frac{Q_a}{v_0} = \frac{3,3 \cdot 10^{-5}}{25,1} = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{м}^3;$$

$$d_0 = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_0}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,31 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{м} = 1,3 \text{ мм.}$$

Обчислимо діаметр змішувальної камери:

$$d_3 = \frac{d_0}{\sqrt{\Omega}} = \frac{1,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{0,75}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{м} = 1,5 \text{ мм.}$$

Інші розміри ежектора обчислюють за методикою Л.Д. Бермана і Г.І. Єфімочкина [29], розробленої на основі дослідних даних. Експериментально встановлено пропорцію, що зв'язує всі параметри, зазначені на рис. 4.2. Знайдемо діаметр вихідного отвору дифузора:

$$d_5 = 2,5 \cdot d_0 = 2,5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{м} = 3,3 \text{ мм.}$$

Діаметр вхідного отвору приймаємо рівним діаметру вихідного:

$$d_1 = d_5 = 3,3 \text{ мм.}$$

З точки зору передачі кінетичної енергії ежектуючої рідини, що надходить на вхід насоса ежектуємому газу оптимальним вважається довжина приймальної камери в діапазоні $d_3 \leq l_2 \leq 6d_3$. Вибираємо

$$l_2 = 4 \cdot d_3 = 4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6 \text{ мм.}$$

Діаметр приймальної камери приймаємо рівним її довжині:

$$d_2 = l_2 = 6 \text{ мм.}$$

Довжина камери змішування:

$$l_3 = 10 \cdot d_3 = 10 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 15 \text{ мм.}$$

Довжина дифузора:

$$l_4 = 7,75 \cdot d_0 = 7,75 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 10 \text{ мм.}$$

Висновки до розділу:

Отже, для незалежного і оперативного регулювання складової частки газу в рідинно-газової суміші обрано і розраховано ежекторний змішувач, який дозволяє додавати газ в робочу рідину навіть при атмосферному тиску.

У ежекторі одночасно протікають два взаємопов'язані процеси: передача частини енергії від активного потоку до пасивного та їх змішування.

Основні характеристики ежектора визначають конструктивні особливості його перетину, причому ці особливості настільки принципіві,

що без технічних розрахунків і експериментальних проробок забезпечити ефективність роботи ежектора практично неможливо.

Розрахунок геометричних розмірів ежектора-змішувача проведено на основі методик розроблених на базі теоретичних обґрунтувань і експериментальних даних.

						64

5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ «КОРПУС ЕЖЕКТОРА»

В наш час велика увага приділяється підвищенню ефективності виробництва та інтенсифікації праці шляхом впровадження досягнень науково-технічного прогресу. Провідна роль у вирішенні даної проблеми відводиться машинобудуванню. Підвищення якості продукції та продуктивності праці, зниження питомої металоємкості машин та обладнання – всі ці завдання вирішує машинобудування. Саме тому технологічний процес виготовлення деталі має бути таким, щоб з найменшими витратами ресурсів забезпечити встановлений конструктором рівень якості.

Технологічний процес – це впорядкована послідовність взаємопов'язаних дій та операцій, що виконуються над початковими даними до отримання необхідного результату.

Технологічний процес являє собою сукупність різних операцій, у результаті виконання яких змінюються розміри, форма, властивості предметів праці, виконується з'єднання деталей у складальні одиниці й вироби, здійснюється контроль вимог креслеників і технічних умов.

5.1 Технологічний контроль креслення

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі, вихідним документом є її креслення. Технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до ГОСТ 14.206-73. У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають

повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі.

Проаналізувавши креслення корпусу ежектора на рис. 5.1 можна сказати, що на кресленні вказані всі розміри, необхідні для виготовлення деталі відповідно до ГОСТ 2789-73.

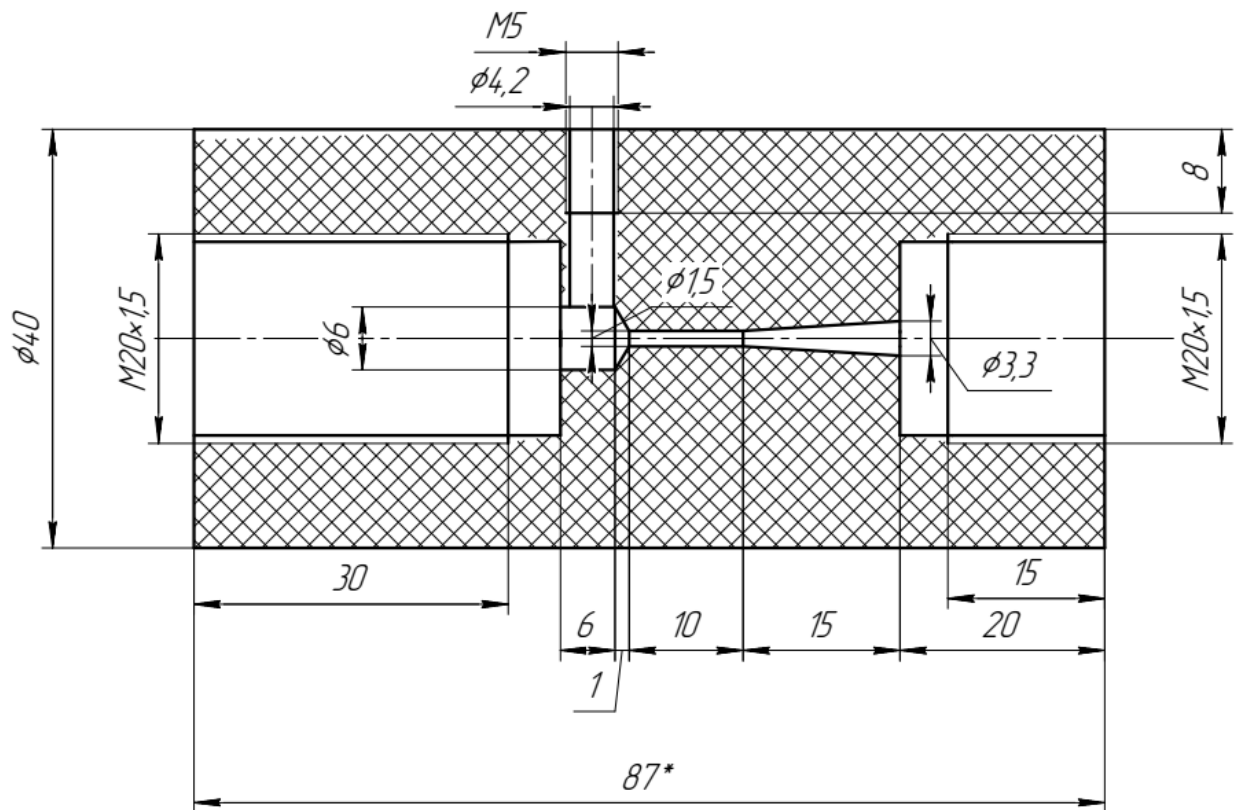


Рисунок 5.1 – Креслення деталі «Корпус ежектора»

5.2. Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі

Деталь «Корпус ежектора» є складовою частиною ежектора-змішувача, який складається з двох частин – корпусу і сопла. З'єднання цих деталей утворює внутрішню приймальну камеру для периферійного підведення інертного газу. Кріплення деталей – різьбове M20x1,5 ГОСТ 9150-59. Деталь

"Сопло" вкручується всередину деталі "Корпус ежектора" до упору за допомогою шліцевої викрутки.

Деталь «Корпус ежектора» можна віднести до класу спеціальних деталей. Вона має два торцевих отвори з різьбленням М20х1,5 для приєднання штуцерів вхідного шланга подачі масла та вихідного шланга відводу масло-газової суміші. Збоку є отвір з різьбою М5 для під'єднання штуцера вхідного шланга подачі інертного газу. Габаритні розміри деталі – Ø40х87 мм.

Корпус ежектора виготовляється з матеріалу оргскло прозоре (акрил) марки ТОСН (технічне оргскло спеціальне непластифіковане) ГОСТ 17622-72. Вибір прозорого матеріалу обумовлений зручністю спостереження за процесом змішування масла з інертним газом в ежекторі-змішувачі.

5.3 Вибір заготовки та його технічне обґрунтування

Вибрати заготовку – означає визначити спосіб її отримання, розрахувати або підібрати за таблицями припуски на механічну обробку усіх поверхонь і вказати допуски на виготовлення заготовки. Враховуючи те, що з економічної точки зору виготовлення носить разовий характер, матеріал деталі (оргскло прозоре) та її конфігурацію у якості заготовки приймаємо круглий стрижень Ø40 мм. Ескіз заготовки наведено на рис. 5.2.

						67

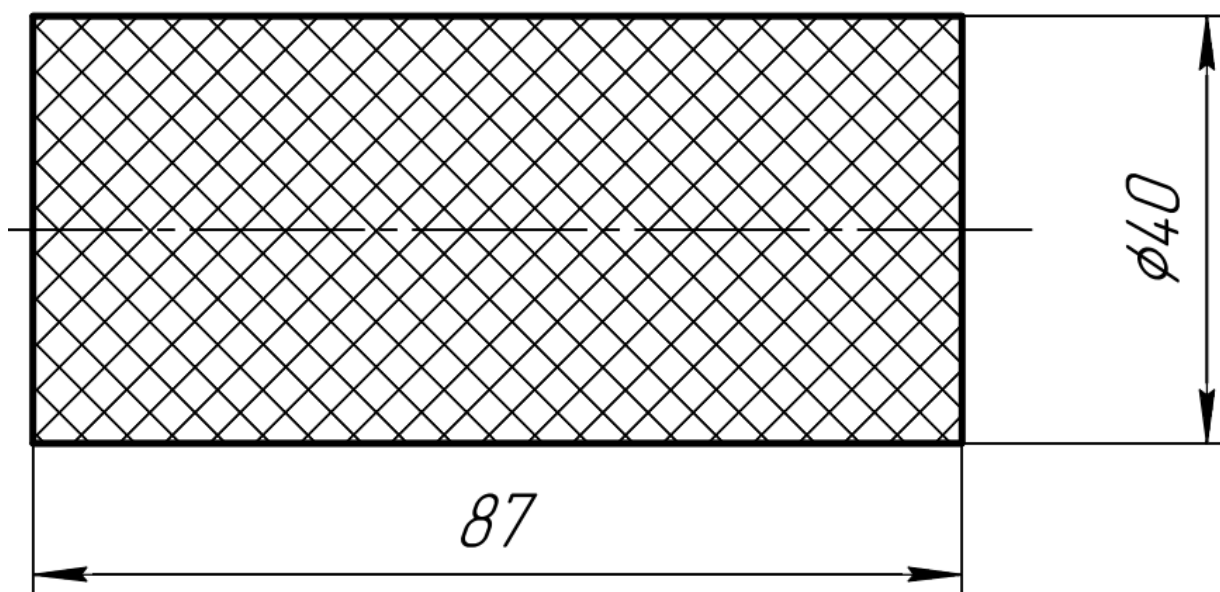


Рисунок 5.2 – Ескіз заготовки

5.4 Проектування типового технологічного процесу

5.4.1 Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту

Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту проводиться виходячи з типу виробництва. У даному випадку тип виробництва – одиничний. Одиничне виробництво характеризується застосуванням універсального обладнання (з розташуванням його в цехах за типами станків), універсальної оснастки, універсального робочого та вимірювального інструменту, які забезпечують виготовлення виробів порівняно широкої номенклатури.

Використання обладнання за часом має щільний характер: на одному верстаті виконуються декілька операцій і часто проводиться обробка деталей різних конструкцій і з різних матеріалів.

Пристосування для обробки деталей на верстатах мають універсальний характер, тобто можуть бути використані в різних випадках. Спеціальні

пристосування не застосовують, або застосовують рідко, тому значні витрати на їх виготовлення економічно не виправдовуються.

Необхідний при цьому виді виробництва ріжучий інструмент також повинен бути універсальним, тому що через розмаїття оброблюваних деталей застосування спеціального інструменту економічно не доцільно.

Таким чином, виходячи із зазначених вище рекомендацій, вибираємо обладнання: універсальний токарно-гвинторізний верстат Т165ВЕ та слюсарний стіл.

5.4.2 Вибір типового технологічного процесу

На рис. 5.3 зображено послідовність оброблення поверхонь деталі «Корпус ежектора», а в табл. 5.1 наведено послідовність їх оброблення. Проте, при розробці технологічних процесів необхідно враховувати, що похибки відхилення форми і, особливо, взаємного розташування оброблених поверхонь в основному визначаються точністю обладнання і пристроїв.

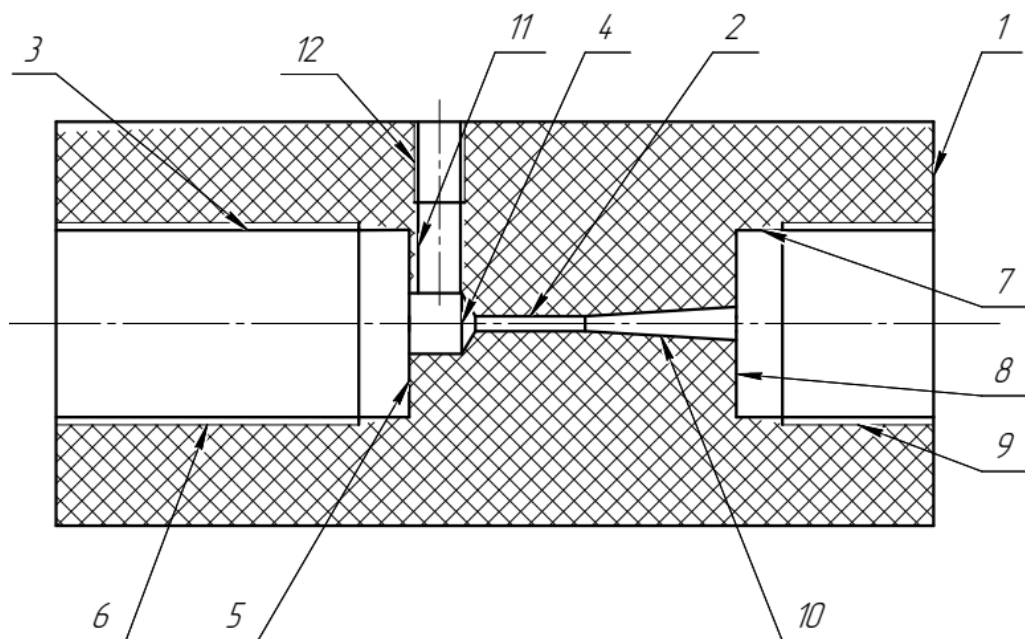
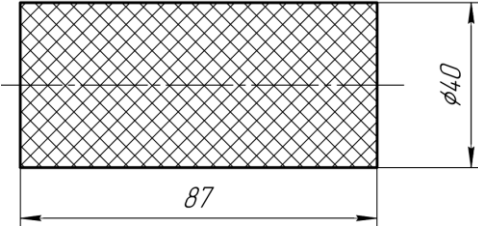
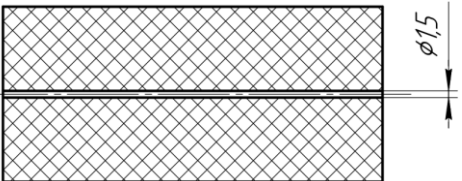
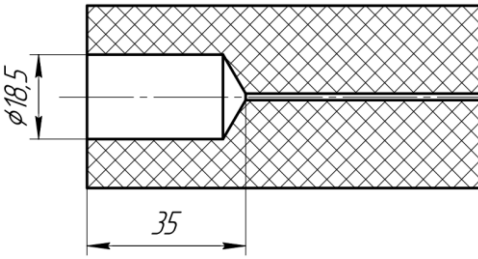
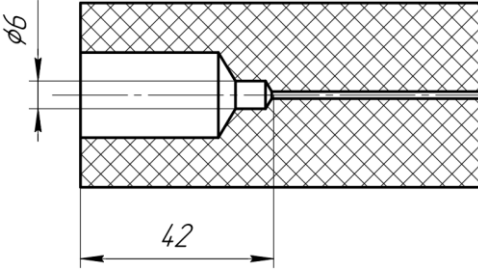
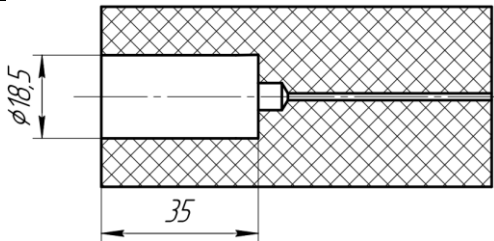
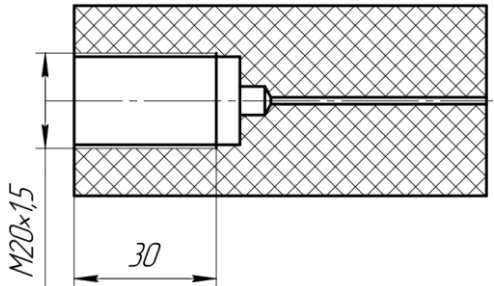
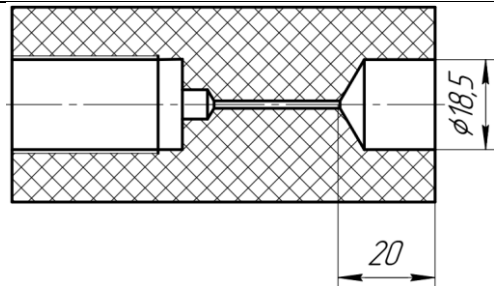
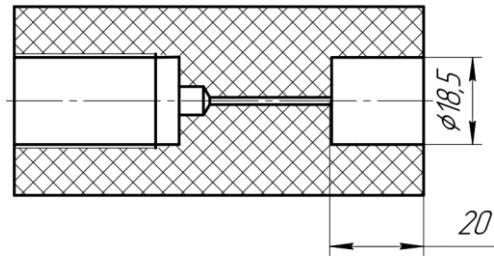
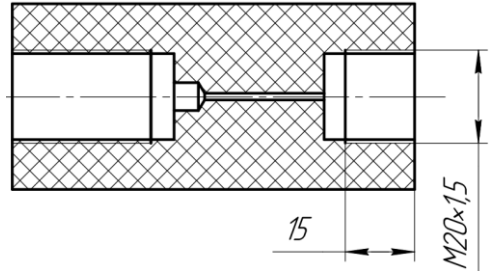


Рисунок 5.3 – Послідовність оброблення поверхонь деталі «Корпус ежектора»

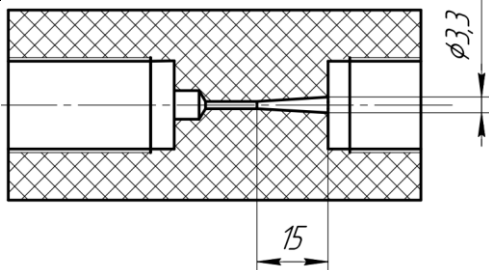
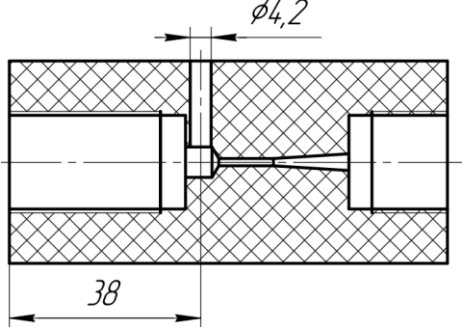
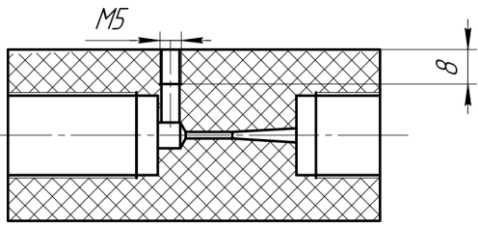
Таблиця 5.1 – Технологічна послідовність оброблення поверхонь деталі «Корпус ежектора» (маршрут механічної обробки)

№ операції	Назва операції	Робочий ескіз	Верстат, обладнання	Оснастка
1	2	3	4	5
10	Заготівельна		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
20	Свердління		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
30	Свердління		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
40	Свердління		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
50	Фрезерування		токарно-гвинторізнний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
60	Нарізування різьблення		токарно-гвинторізнний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
70	Свердління		токарно-гвинторізнний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
80	Фрезерування		токарно-гвинторізнний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
90	Нарізування різьблення		токарно-гвинторізнний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
100	Зенкування		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
110	Свердління		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
120	Нарізування різьблення		токарно-гвинторізний верстат T165BE	3-х кулачковий патрон
130	Слюсарна	Зачистити задирки, притупити гострі краї	Слюсарний стіл	Напилок, надфіль, наждачний папір
140	Промивна	Промити від стружки	Промивочна ванна	

5.4.3 Вибір і обґрунтування режиму обробки

Механічна обробка оргскла може включати: різання, нарізування, різьблення, свердління, фрезерування, гравірування, токарну обробку, шліфування, полірування, видалення задирок.

Необхідно враховувати, що на вибір режимів різання, при обробці одного і того ж матеріалу одним і тим же інструментом, впливає безліч факторів, основними з яких є: жорсткість системи Верстат-Пристосування-Інструмент-Деталь, охолодження інструменту, стратегія обробки, висота шару, що знімається за прохід і розмір оброблюваних елементів.

При різанні оргскла (акрилу) бажано для охолодження інструменту використовувати змащуючу і охолоджуючу рідину, в якості якої може виступати звичайна вода або універсальне мастило WD-40 (в балончику).

При різанні оргскла, коли підсаджується (притупляється) фреза, необхідно знизити обороти до моменту поки не піде кілка стружка (обережніше з подачею при низьких оборотах шпинделя - виростає навантаження на інструмент і відповідно ймовірність його зламати).

При свердлінні отворів глибиною 5 мм і більше, використовуються охолоджуючі рідини або емульсії для свердління (масло в воді), які сумісні з акрилом. Для просвердлювання глибоких отворів рекомендується використовувати тільки емульсії для свердління.

Для свердління оргскла рекомендується швидкість подачі між 0,1-0,3 мм/оберт. Для свердла діаметром 20 мм, найбільш оптимальна швидкість обертання становить 700-800 об/хв. Якість поверхні може далі бути покращена при обробці розгорткою для металів.

Найкращі результати фрезерування досягаються, наприклад, для фрези діаметром 20 мм при швидкості обертання 11 000 – 15 000 об/хв при подачі 0,5 мм/оберт.

Для нарізування різьблення можуть використовуватися будь-які мітчики і плашки. Під час майбутнього гвинтового з'єднання необхідно переконатися у відсутності масляної плівки на металевих гвинтах або в сумісності цього масла з пластмасою.

При обробці оргскла на токарних верстатах дотримується емпіричне правило: швидкість в десять разів вище, ніж при обробці стали. Як і під час свердління, безперервний сход стружки є доказом правильного кута точіння інструменту, швидкості подачі і швидкості різання.

У будь-якому випадку радіус ріжучої кромки інструменту повинен бути, щонайменше, 0,5 мм. Тонка обробка поверхні досягається шляхом застосування інструментів із закругленими різцями, при високих швидкостях різання, низьких швидкостях подачі і при мінімальній глибині різання.

У нашому випадку, для заготовки з поперечним розміром 40мм оптимальні умови обробки досягаються при типовою для токарного верстата швидкості обертання шпинделя від 224 до 1250 об/хв. Подача від 0,1 до 0,5 мм/оберт. Для охолодження можуть використовуватися емульсії для свердління або емульсійні масла, сумісні з акрилом.

Видалення задирок здійснюється усіма традиційними напилками і тонкими рашпілем, що не були раніше використані для обробки металу, трикутними і звичайними шаберами.

5.4.4 Розробка маршрутного технологічного процесу

Виробничим процесом називається сукупність всіх зайнятих людей і знарядь виробництва, пов'язаних з переробкою сировини і напівфабрикатів в заготовки, готові деталі, складальні одиниці і готові вироби на даному підприємстві.

Технологічний процес – частина виробничого процесу, яка містить дії, по зміні і подальшому визначенню стану предмета виробництва.

Технологічний процес безпосередньо пов'язаний із зміною розмірів, форм і властивостей оброблюваної деталі.

Весь технологічний процес виготовлення деталі «Корпус ежектора» представлений в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Технологічний процес виготовлення деталі «Корпус ежектора»

Операція		Назва інстр.	Арт.номер
10	Заготівельна	різець відрізний	JET (50000909)
20	Свердління	свердло	DIN 1869 116240-70 1,5x150 мм
30	Свердління	свердло	DIN 1897 113020-70 18,5 мм
40	Свердління	свердло	DIN 1897 113020-70 6,0 мм
50	Фрезерування	фреза кінцева	DIN 844B 191280-83 18
60	Нарізування різьблення	мітчик	DIN 374 132835-28 M20x1,5 мм

70	Свердління	свердло	DIN 1897 113020-70 18,5 мм
80	Фрезерування	фреза кінцева	DIN 844B 191280-83 18
90	Нарізування різьблення	мітчик	DIN 374 132835-28 M20x1,5 мм
100	Зенкування	розгортка конусна	DIN 161000 1,5x5 мм
110	Свердління	свердло	DIN 1897 113020-70 4,2 мм
120	Нарізування різьблення	мітчик	DIN 374 132835-28 M5
130	Слюсарна	Напилок, надфіль, наждачний папір	
140	Промивна	Промивочна ванна	

Висновки до розділу:

Розробка технологічного процесу є дуже важливою частиною будь якого виробництва, так як без організації процесу і при поганій організації, на виході матимемо, що наше виробництво є дуже дорогим чи недоцільним, деталі відповідно коштуватимуть дорого, і в кінці наші сподівання не виправдаються.

В даному розділі описані порядок і всі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус ежектора»: технологічний контроль якості кресленика, аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі, вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування, призначення послідовності виконання операцій та проектування їх змісту,

вибір устаткування та інструментів для кожної операції технологічного процесу та визначення елементів та режимів різання.

6 БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Експериментальний стенд для дослідження явища гідродинамічної кавітації та гідролюмінесценції був зібраний в лабораторії гідравліки, яка розташована в підвальному приміщенні. Зробимо аналіз охорони праці на робочому місці під час виконання дипломної роботи.

6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у лабораторії гідравліки

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, який поширюється на небезпечні та шкідливі виробничі фактори, встановлює їх класифікацію та містить особливості розробки системи стандартів безпеки праці на вимоги та норми за видами небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74 всі небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

В лабораторії гідравліки у процесі виконання досліджень можливі такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

Рухомі машини і механізми. Небезпечним фізичним фактором під час роботи в лабораторії є рухомі незахищені частини механізмів. Джерелом такої небезпеки стає обладнання, що має відкриті рухомі частини – центрифуги, насоси, гідро- і пневмоциліндри та інше. При необережному

поводженні або при виникненні несправностей вони можуть бути причиною травмування працівників, тривалість дії даного фактору протягом роботи становить 1–2 год.

Підвищена температура поверхонь устаткування, матеріалів. Це шкідливий фактор, що виникає при віддачі нагрітими частинами обладнання тепла у повітря робочого приміщення. Джерелом підвищення температури в лабораторії можуть бути: автоклави, сушильні шафи, спиртівки, плитки тощо. Тривалість дії даного фактору протягом роботи може становити 1 – 1,5 год.

Підвищена температура повітря робочої зони при тривалій роботі у недостатньо вентильованому приміщенні. Це шкідливий фактор, що виникає при віддачі нагрітими частинами обладнання тепла у повітря приміщення, де працюють робітники. Джерелом підвищення температури в лабораторії можуть бути: автоклави, сушильні шафи, плитки. Так, у теплий час року температура повітря в лабораторії може досягати 34–38°C при відносній вологості 40–60 %. В залежності від пори року даний фактор може діяти протягом всього робочого дня.

Підвищений рівень шуму на робочому місці. Це шкідливий виробничий фактор, який в першу чергу впливає на центральну нервову систему людини. Рівень шуму підвищується в результаті використання великої кількості обладнання, що розповсюджують коливання звукової хвилі в звуковому діапазоні. В лабораторії джерелами шуму є вентиляційна система, сушильна установка, насоси, центрифуги, гідро- і пневмоциліндри, розподільники та ін. Рівень шуму в дослідницькій лабораторії коливається в межах 92–102 дБ при частоті 1000 Гц при нормі – 80 дБ. Тривалість дії даного фактору в лабораторії становить 2–3 год.

Підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може відбутися через тіло людини. Джерелом даного небезпечного виробничого фактору є електрична апаратура, яка використовується у

лабораторії (комп'ютери, електродвигуни, центрифуги, електрична плитка, електрощитова та ін.). Можливість негативного впливу виникає протягом безпосередньої роботи із електричною апаратурою.

Підвищений рівень електромагнітного випромінювання в робочій зоні.

Джерелом змінного електромагнітного випромінювання наднизьких частот (мегаметрове випромінювання), що відповідає частотам 30–300 Гц, є працюючі електродвигуни, електроклапани, вимірювальні прилади, комп'ютерна техніка тощо. Тривалість дії даного фактору залежить в межах 1–4 год.

Недостаток природного світла. Відділення лабораторії гідравліки знаходиться у підвальному приміщенні, невеликі вікна якого знаходяться під стелею, виходять на західну сторону та завдяки затіненню деревних насаджень мають досить невисоку пропускну здатність природного освітлення.

Недостатня освітленість робочої зони. Причинами недостатньої освітленості робочої зони є неправильне розміщення робочого місця працівника відносно вікна, недостатня кількість світильників.

Нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перенавантаження). Джерелами вищеперерахованих факторів є ручні роботи, що викликають фізичні і нервово-психічні перенавантаження, проведення розрахунків, робота з телеметрією, і таке інше. Тривалість дії даного фактору протягом роботи може становити 5 – 6 год.

6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих факторів

Загальні вимоги по охороні праці при роботі в лабораторії гідравліки:

- до роботи в лабораторії допускаються особи старші 18 років, які пройшли: медичний огляд; вступний і первинний інструктаж на робочому місці; навчені правилам охорони праці при роботі з легкозаймистими рідинами, хімічними реактивами, хімічним посудом; навчені правилам надання першої медичної допомоги;

- робота виконується тільки протягом робочого дня і в спецодязі (халаті). Халат повинен бути наглухо застебнутий;

- в лабораторію не можна вносити зайві речі, продукти харчування. Портфелі і сумки складають в спеціальні шкафчики;

- на робочому місці розміщують тільки найбільш необхідне обладнання для виконання конкретної роботи;

- в лабораторії повинні бути аптечка зі стерильним перев'язувальним матеріалом та набором медикаментів для надання першої допомоги при отруєнні, опіках, порізах, попаданні кислот, лугів та інших розчинів на шкіру;

- в лабораторії повинні бути: нейтралізуючі засоби для кислот – 1% розчин бікарбонату натрію (соди), для лугів – 1% розчин оцтової або лимонної кислоти та 1% розчин борної кислоти для промивання очей.

З метою усунення потенційної небезпеки рухомих незахищених частин механізмів та машин необхідно використовувати спеціальні загороджувальні конструкції, щоб обмежити доступ працівників в зону контакту з цими частинами. При проведенні налагоджувальних і профілактичних робіт необхідно повністю зупиняти рух таких механізмів і машин.

Засобами захисту від підвищених температур поверхонь обладнання та

матеріалів можуть бути огороження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанції керування, індивідуальні засоби захисту.

Для того, щоб позбутися підвищеної температури повітря в робочій зоні необхідно поставити вентиляційні установки біля апаратів та механізмів, що найбільше нагріваються. Можна також застосовувати спеціальні теплообмінники.

Для зниження шуму від лабораторного обладнання слід:

- послабити шум самих джерел, зокрема, передбачити застосування в їх конструкції акустичних екранів, кожухів і т.д.;
- застосовувати раціональне розташування обладнання;
- використовувати архітектурно-планувальні та технологічні рішення, спрямовані на ізоляцію джерел шуму.

На робочих місцях, де не вдається знизити шум і вібрацію допустимих рівнів технічними засобами, або де це недоцільно з техніко-економічних міркувань, застосовують засоби індивідуального захисту – протишумні шоломи, протишумні навушники, протишумні вкладиші «Беруши», які знижують його до 35–40 дБ.

Важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою електроприлади, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення не повинна перевищувати 42 В.

Захист працюючих від ураження електричним струмом може здійснюватися наступними заходами та засобами:

- ізоляція струмопровідних частин (подвійна ізоляція проводів);
- недоступність струмопровідних частин (пакетні аварійні вимикачі);
- захисне заземлення або занулення конструкцій, що можуть виявитися під напругою;

- розділення електричних мереж (силові мережі і мережі освітлення);
- використання справних штепсельних з'єднань і електророзеток тільки заводського виготовлення;
- заборона використання перехідних пристроїв;
- застосування написів, плакатів, засобів індивідуального захисту (діелектричні килимки тощо).

Основними заходами захисту від електровипромінювання можуть бути: зменшення випромінювань безпосередньо біля джерела; дистанційний контроль і керування; застосування засобів індивідуального захисту (спецодяг, захисні окуляри).

Для забезпечення нормованих значень освітленості в приміщенні лабораторії слід проводити чистку скляних рам і світильників не рідше двох разів на рік і проводити своєчасну заміну перегорілих ламп.

Оскільки лабораторія гідравліки знаходиться в підвальному приміщенні та одного природного освітлення вочевидь не вистачає, встановлюється суміщене освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. Для штучного освітлення приміщення слід використовувати головним чином люмінесцентні лампи. Найбільш прийнятними є люмінесцентні лампи білого і тепло-білого світла.

Освітлення має бути достатньо рівномірно розподілено на робочих поверхнях і в навколишньому просторі, не повинно бути різких тіней, відблисків; напрямок випромінюваного освітлювальними приладами світлового потоку має бути оптимальним.

6.2.1 Розрахунок штучного освітлення

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, ослаблює увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування та різь в очах. Неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть привести до небажаних помилок працівника, тому важливо правильно розрахувати освітленість приміщення.

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, надаючи позитивну психологічну дію на персонал, підвищує безпеку праці і знижує помилковість.

Для загального штучного освітлення приміщень використовують, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби.

Для розрахунку штучного освітлення використовують три методи:

- метод коефіцієнта використання світлового потоку;
- метод питомої потужності;
- точковий метод;

Для розрахунків загального рівномірного освітлення чистих приміщень застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку [30].

Світловий потік однієї лампи $\Phi_{\text{л}}$ визначаються за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{ESK_3Z}{Nn\eta},$$

де E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

K_z – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (для газорозрядних ламп беремо $K_z = 1,5$);

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($Z=1,1$ для люмінесцентних ламп);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Нормована освітленість E приймається відповідно до СНиП II-4-79 та ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [31].

Мінімальне освітлення приміщення, в якому виконуються зорові роботи розряду IVa (найменший розмір об'єкта розпізнавання 0,5–1 мм) становить $E=300$ лм.

Коефіцієнт використання світлового потоку η залежить від:

– коефіцієнту відбиття стелі, стін та робочої поверхні ρ_n, ρ_c, ρ_p відповідно;

– індекса приміщення i ;

– від групи світильників.

Індекс приміщення i вираховується за формулою

$$i = \frac{ab}{h(a + b)},$$

де a і b – довжина і ширина приміщення, м;

h – висота світильника над робочою поверхнею, м.

У нашому випадку довжина $a = 10$ м; ширина $b = 6,5$ м; висота стелі $H=3,5$ м. Тоді висота світильника над робочою поверхнею $h = H-0,7$ м = 2,8 м.

Індекс приміщення i становить:

$$i = \frac{10 \cdot 6,5}{2,8 \cdot (10 + 6,5)} = 1,41.$$

За таблицею «Коефіцієнти використання світлового потоку

світильників з люмінесцентними лампами» [31] для світильника типу ЛПО01 знаходимо:

$$\rho_n = 70\%, \rho_c = 50\%, \rho_p = 10\%;$$

$$\eta = 0,53.$$

$$\text{Площа приміщення } S = ab = 10 \cdot 6,5 = 65 \text{ м}^2.$$

Визначимо кількість світильників, для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по дві лампи ЛБ-40, а світловий потік однієї такої лампи становить $\Phi_{\text{л}} = 3200$ лм:

$$N = \frac{ESK_3Z}{\Phi_{\text{л}} n \eta} = \frac{300 \cdot 65 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{3200 \cdot 2 \cdot 0,53} = 9,49 \approx 10.$$

Отже, для забезпечення нормального освітлення чистого приміщення лабораторії гідравліки площею 65 м^2 необхідно 10 світильників, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовуємо в два ряди по 5 штук в кожному. Загальна довжина усіх світильників у ряду становитиме:

$$\Sigma L_{\text{св}} = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ м.}$$

Це значно менше довжини приміщення, тому між світильниками будуть розриви $0,8 \text{ м}$ (рис. 6.1).

Визначимо сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n = 40 \cdot 10 \cdot 2 = 800 \text{ Вт.}$$

						86

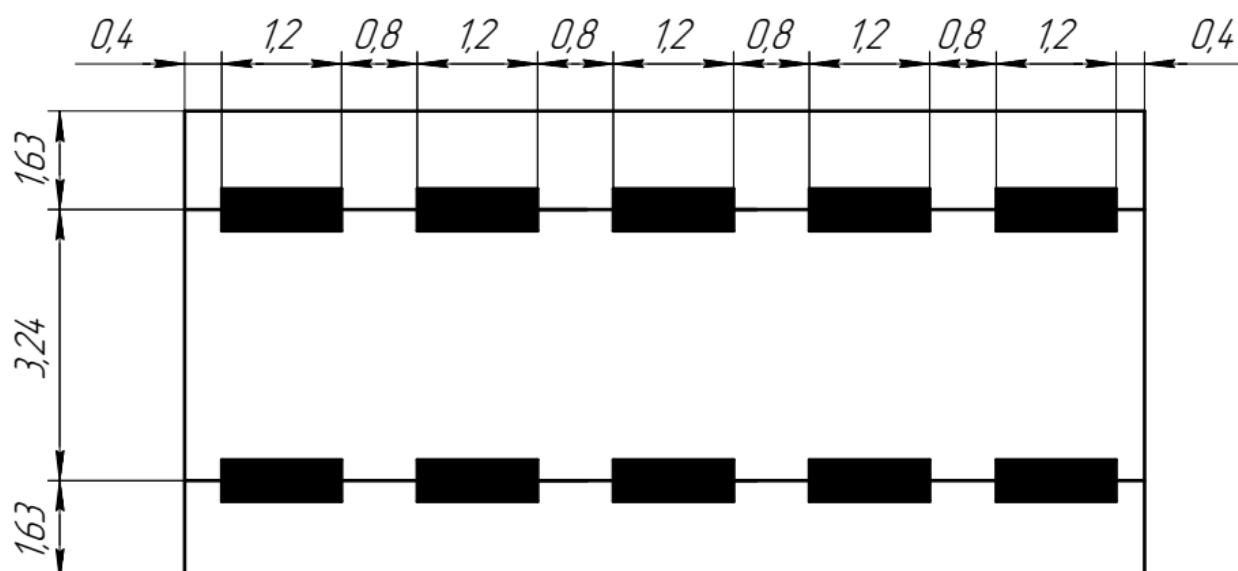


Рисунок 6.1 – Схема розташування світильників ЛПО01 у приміщенні лабораторії гідравліки

Знайдемо фактичне значення освітленості E_{ϕ} , що створює в приміщенні розрахована система освітлення:

$$E_{\phi} = \frac{\Phi_{\text{л}} N n \eta}{S K_3 Z} = \frac{3200 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,53}{65 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 316 \text{ лм.}$$

Тепер порівняємо фактичне значення освітленості з нормативним для штучного освітлення робочої зони:

$$\frac{E - E_{\phi}}{E} \cdot 100\% = \frac{300 - 316}{300} \cdot 100\% = -5,33\%.$$

Отриманий результат означає, що фактична освітленість робочої зони перевищує нормативне значення на 5,33%, що відповідає нормам ДБН В.2.5-28:2018.

6.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки

Правила пожежної безпеки в лабораторії (установі) повинні складатись на базі НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки в Україні" та вимог цих правил.

Причинами виникнення пожежі в лабораторії можуть бути:

- несправність чи порушення режиму роботи систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря;
- несправність чи перевантаження електричних установок, нагрівних пристроїв (неправильний вибір перетинів чи проводів електроустаткування, несправність засобів захисту мереж від перевантажень та ін.);
- наявність легкозаймистих речовин (масла, спирти, ефіри тощо) і матеріалів та можливість їх неправильного зберігання чи застосування;
- необережне поводження з вогнем, недотримання застережних заходів (паління в невстановлених місцях, недбале проведення робіт, пов'язаних з використанням вогню, залишення без догляду електронагрівальних приладів і т.п.).

При виникненні аварійних ситуацій відбувається різке виділення теплової енергії, яка може стати причиною виникнення пожежі та вибуху.

Основи протипожежного захисту підприємств визначені стандартами ГОСТ 12.1. 004 – 91 [32], ГОСТ 12.1.010 – 76 [33].

Зберігання в лабораторіях речовин і матеріалів повинно проводитися строго за асортиментом. Не допускається спільне зберігання речовин, хімічна взаємодія яких може викликати пожежу або вибух.

Лабораторні меблі та обладнання мають встановлювати так, щоб вони не перешкоджали евакуації людей. Ширина мінімально допустимих проходів між обладнанням повинна бути не менше 1 м.

Робочі поверхні столів, стелажів, витяжних шаф, призначених для

роботи з пожежо-, вибухонебезпечними рідинами і речовинами, повинні мати незгораюче покриття.

Всі роботи в лабораторії, пов'язані з можливістю виділення токсичних або пожежо-, вибухонебезпечних парів і газів, повинні проводитися тільки у витяжних шафах, які належить підтримувати в справному стані. Користуватися витяжними шафами з розбитим склом або несправною вентиляцією заборонено.

Один раз в квартал повинно проводитись очищення від пилу всіх агрегатів машин та їх вузлів, кабельних каналів і міжпольного простору.

З метою профілактики пожежі, а також швидких дій у випадку її виникнення в лабораторії повинно бути передбачено:

- проведення інструктажу персоналу;
- заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі;
- схема евакуації при пожежі поміщена на видному місці;
- ширина дверного отвору на випадок евакуації 1,5 м, висота 2 м.
- розміщені вогнегасники (ручні), ящики з піском.

Висновки до розділу:

Працюючи в лабораторії, людський організм піддається впливу різних небезпечних та шкідливих факторів, пов'язаних із характером виконання експерименту.

Проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які діють на персонал лабораторії під час виконання експерименту та розроблені заходи щодо зменшення їх впливу.

Приміщення лабораторії повинно мати природне або штучне освітлення, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018 "Природне та штучне

освітлення". Світильники повинні бути закриті та доступні для мокрої обробки.

Проведений розрахунок системи штучного освітлення у приміщенні лабораторії, яка відповідає нормативним вимогам. За результатами розрахунку розроблена схема оптимального розташування світильників.

Правила пожежної безпеки в лабораторії повинні складатись на базі НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки в Україні" та вимог цих правил.

						90

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Метою даного розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередніх розділах магістерської дисертації.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

7.1 Опис ідеї проекту

Для початку необхідно визначити:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників;

Таблиця 7.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка методів поліпшення ефективності кавітаційних пристроїв	1. Гомогенізація біотехнологічної та фармацевтичної продукції	Руйнування клітин дріжджів білків та бактерій без застосування

зادля їх подальшого використання у промисловості (продаж технології промисловим об'єктам)		розчинників або хімічних речовин (виготовлення вакцин)
	2.Обробка палива (у тому числі бензину, нафти, дизельного палива і т.п.)	Поліпшення ефективності обробки (зменшення кількості енергії затрачуваної на обробку 1-го літра палива). Вигоди для кінцевого користувача: Зменшення парафінових включень у паливо і, як наслідок, поліпшення його згорання.
	3. Обробка змащувальних матеріалів (промислові мастила, нафта, змазки)	Поліпшення ефективності обробки (зменшення кількості енергії затрачуваної на обробку 1-го літра змащувальних матеріалів). Вигоди для кінцевого користувача: поліпшення змащувальних властивостей мастил,

У таблиці 7.2 зроблено аналіз техніко – економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів.

Таблиця 7.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтра льна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкур ент1	Конкур ент2	Конку- рент3			
1.	Гомогенізація біотехнологічної та фармацевтичної продукції	S	W	N	S	Перегрівання	Малий показник металоемності	Наявність зон розрідження
2.	Обробка кавітацією палив	S	W	N	W	Високі енергозатрати	Малий показник металоемності	Наявність регулювання
3.	Дослідницький інтерес	S	N	W	W	Погана система керування	Малий показник металоемності	Наявність гідролітичної активності

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 7.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 7.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Термостабільний кавітаційний генератор з мехатронним керуванням	Виготовлення простих комплектуючих та збір їх в одне ціле із стандартними деталлями.	Наявні	Доступні
2	Термостабільний кавітаційний генератор з інтерметалідним елементом керуванням	Виготовлення простих комплектуючих та сбір їх в одне ціле із стандартними деталлями.	Наявні	Доступні
3	Генератор гідролюмінесценції у дослідницьких цілях	Виготовлення простої комплектуючої (насадки без рухомих елементів)	Наявні	Доступні

Обрана технологія реалізації ідеї проекту:

Оброблення комплектуючих на стандартних станках та послідовний збір у цільну конструкцію

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

7.3.1 Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 7.4).

Таблиця 7.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5320000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Недовіра з боку споживачів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	23%

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект.

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо того, чи є ринок привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

7.3.2 Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 7.5).

Таблиця 7.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Знижує споживання палива у автомобілі	Власники авто бюджетного сегменту	Відрізняються обережністю і базовою технічною грамотністю, для гарних продажів необхідно рекламувати результати досліджень	- виконання своїх функцій згідно заявлених характеристик - чесність у пред'явленні специфікацій та іншої супроводжувальної інформації.

7.3.3 Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 7.6-7.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 7.5 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Дезінформація	Розповсюдження дезінформації на соціальних середовищах обміну інформацією	Викладення у вільний доступ результатів досліджень, створення навчальних матеріалів на задану тему

Таблиця 7.6 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
	Захват ринку	Можливість повністю зайняти ринок виробів поточної обробки палив	Цілісне сприяння та агресивна рекламна компанія

7.3.4 Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 7.8).

Таблиця 7.7 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Чиста	Рекламна компанія, задоволення необхідних потреб продавців автомобільної продукції для сприяння продажу наших товарів
2. За рівнем конкурентної боротьби локальний/національний/...	Національний	Зробити акцент на поганій якості палива в Україні а наш продукт як спосіб вирішення цієї проблеми
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньо-галузева	Провести дослідження на різних паливах та опублікувати результати, запатентувати вироби
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Між бажаннями	
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	

5.3.5 Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 5.9).

Таблиця 7.8 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	5opt, CAVIX, CAVIGROUP	CAVIX, CAVIGROUP	Досвід конкурентів у спілкуванні з цільовими групами	Технічна грамотність клієнтів	Зазначених фірм

7.3.6 На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 7.3.5 (табл. 7.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 7.2), вимог споживачів до товару (табл. 7.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 7.6-7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 7.10.

Таблиця 7.9 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Термостабільність	Можливість регулювати параметри кавітації та можливість встановити стабільний режим кавітації в залеженості від температури. Це дає можливість отримувати стабільне число кавітації у холодний та теплий пори року.
2	Ежекція газу безпосередньо у кавітуючу зону	Ежекція повітря у зону кавітації дає можливість посилити інтенсивність кавітації та змішувати паливо з повітрям перед камерами згоряння.
3	Наявність тіла обтікання	Наявність тіла обтікання в кавітаційній зоні забезпечує інтенсифікацію кавітації.

7.3.7 За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 7.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 7.11).

Таблиця 7.10 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін
«термостабільний кавітатор»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (CAVIX)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Термостабільність	20					+1		
2	Ежекція інертного газу безпосередньо у кавітуючу зону	17						+2	
3	Наявність тіла обтікання	10				0			

7.3.8 Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 7.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 7.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже ринкова загроза).

Таблиця 7.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Наявність факторів які поліпшують ефективність прилада	Слабкі сторони: Відсутність статистики успішних застосувань у практиці
Можливості: Зайняття ринку у данній сфері за рахунок вищезгаданих факторів	Загрози: Недовіра кінцевих споживачів цільовій групі товарів і методів

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

7.4.1 Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 7.13).

Таблиця 7.12 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Володарі авто бюджетного класу	Низька	5%	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: Володарі авто бюджетного класу					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обирамо цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій то-вар, та визначають стратегію охоплення ринку:

- якщо компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу;
- якщо працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу – вона використовує стратегію диференційованого маркетингу;
- якщо компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги) – вона використовує масовий маркетинг.

Під наш проект підходить стратегія концентрованого маркетингу.

7.4.2 Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 7.14).

Таблиця 7.134. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей	Ринкове позиціонування	Наявність конкурентно спроможних відмінностей товару	Стратегія диференціації

7.4.3 Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.15).

Таблиця 7.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Ні	Стратегія лідера

7.4.4 На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 7.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 7.14) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.15) розробляється стратегія позиціонування (табл. 7.16), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 7.16. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Віконання функцій згідно специфікації	Стратегія диференціації	Наявність конкурентно спроможних відмінностей товару	Ефективність, економія, технологічність.

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

7.5.1 Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 7.17 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 7.147 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Економія палива	Економія палива	Можливість регулювання, більша ефективність, термостабільність

7.5.2 Надалі розробляється тривірнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 7.18).

Таблиця 7.158 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Економія палива при роботі ДВЗ за рахунок кавітаційної обробки палива безпосередньо перед камерами згоряння.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Термостабільність	***	***
	2. Можливість регулювання		
	Якість: Параметри тестування		
	Пакування		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу		
	Після продажу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок реєстрування патенту			

7.5.3 Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу

проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 7.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 7.19 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	200 у.е	150 у.е.	500 у.е./мес	350/200 у.е.

7.5.4 Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 7.20):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 7.20 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Пошук в інтернет	Консультування, оформлення, доставка	Середня	Інтернет магазин

Висновки до розділу

Під час аналізу стартап-проекту були отримані наступні результати:

- Є можливість ринкової комерціалізації проекту, наявний попит, динаміка ринку задовільна, рентабельність задовільна;
- Є перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможності проекту;

- Як варіант впровадження доцільно обрати стратегію диверсифікації.
- Подальша імплементація проекту є доцільною.

						104

ВИСНОВКИ

Отже, найбільша кількість результатів експериментальних і теоретичних робіт вказує, що процеси гідродинамічної люмінесценції мають електричну природу походження, але також є ряд робіт, в яких наводяться аргументи на користь теплової теорії.

Останнім часом розрізняють явища сонолюмінесценція (емісія світла рідиною при впливі на неї ультразвуковими хвилями, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних звуковими або ультразвуковими коливаннями) та гідролюмінесценція (емісія світла рідиною, що виникає при кавітації бульбашок, викликаних гідродинамічними ефектами).

Сонолюмінесценція буває багатобульбашковою та однобульбашковою свічення якої є стабільніше і інтенсивніше.

В свою чергу гідролюмінесценцію поділяють на інтенсивну і гідролюмінесценцію в кавітаціоному струмені. Інтенсивна гідролюмінесценція з'являється при протіканні діелектричних рідин через вузький канал, зазвичай її можна спостерігати неозброєним оком. Гідролюмінесценція в кавітаціоному струмені з'являється при обтіканні рідиною перешкод і спостерігається в кавітуючій області після перешкоди.

Головним завданням магістерської дисертації є вивчення природи гідролюмінесценції. Для цього була розроблена і виготовлена експериментальна установка, яка дозволяє в лабораторних умовах реалізувати явища гідролюмінесценції, з подальшою можливістю проведення серій експериментів з дослідження даних явищ.

Наукова новизна цієї роботи полягає в тому, що отримана серія успішних експериментів дозволяє прояснити механізми ряду ефектів, важливих для розуміння явищ сонолюмінесценції і гідролюмінесценції.

Експериментальні дослідження дозволили встановити, що температура робочого тіла істотно впливає на характеристики потоку газу. Встановлено межі виникнення гідролюмінесценції.

Експеримент проводився з регулюючими гвинтами з різних матеріалів. Змінюючи параметри робочої рідини у всіх випадках вдавалося домогтися стійкої гідродинамічної люмінесценції, хоча і були в кожному випадку індивідуальні особливості свічення.

Зроблено припущення залежності світлового випромінювання від властивостей основи мінерального масла, кількості і типу газу, води, тиску його насичених парів і складу пакету присадок.

Виявлено гістерезис свічення гідролюмінесценції, тобто початок і припинення емісії світла відповідає різним тискам робочої рідини в системі.

Для незалежного і оперативного регулювання складової частки газу в рідинно-газової суміші обрано і розраховано ежекторний змішувач, який дозволяє додавати газ в робочу рідину навіть при атмосферному тиску.

Зазначимо, що у подальшому доцільно провести експеримент для вивчення явища гідролюмінесценції при наявності в робочої рідині бульбашок інертного газу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Арабаджи В.И. Загадки простой воды. Москва: Знание, 1973. 96 с.
2. Пильгунов В.Н., Ефремова К.Д. Светоизлучение и электрические процессы в кавитирующем потоке минерального масла. *Наука и образование: электрон. науч.-тех. журнал*. 2013. № 3. С. 31-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0313.0535547>.
3. Бирюков Д.А. Экспериментальное исследование люминесценции в жидкости : дис. ... к-та техн. наук : 01.04.14 / ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Москва, 2014. 105 с.
4. Колдомасов А.И. Плазменное образование в кавитирующей диэлектрической жидкости. *Журнал технической физики*. 1991. Т. 61, № 2. С. 188-190.
5. Герценштейн С.Я., Монахов А.А. Электризация и свечение жидкости в коаксиальном канале с диэлектрическими стенками. *Изв. РАН. Механика жидкости и газа*. 2009. № 3. С.114-119.
6. Маргулис М.А. Сонолюминесценция. *Успехи физических наук*. 2000. Т. 170, № 3. С. 263-287.
7. Свечение жидкости в узком канале как триболюминесценция / Д.А. Бирюков и др. *Оптика и спектроскопия*. 2013. Т.114, № 5. С. 768-772. DOI: <http://dx.doi.org/10.7868/S0030403413050048>
8. Константинов В.А. *ДАН СССР*. 1947. Т. 56. № 3. С. 259–260.
9. Полянский В.А., Панкратьева И.Л. *ДАН СССР*. 2005. Т. 403. № 5. С. 619–622.
10. Флин Г. Физическая акустика / ред. У Мэзон; пер. с англ. под ред. Л. Д. Розенберга. Т. 1. ч. Б. Москва : Мир, 1967. 362 с.

11. Курочкин А.К., Смородов Е.А., Валитов Р.Б., Маргулис М.А. Исследование механизма сонолюминесценции. *ЖФХ*. 1986. Т. 60, С. 1239-1242.
12. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция : монография. Москва : Химия, 1986. 288 с.
13. Голубничий П.И., Гончаров В.Д., Протопопов Х.В. Сонолюминесценция в жидкостях. *Акустический журнал*. 1969. Т. 15. С. 534.
14. Эльпинер И.Е. Ультразвуковая люминесценция: обзор. *Акустический журнал*. 1960. Т. 5. № 1. С. 3-15.
15. Гордеев В.Е., Сербинов А.И., Трошин Я.К. О тепловой теории свечения кавитирующей жидкости. *Акустический журнал*. 1968. Т. 14. №2. С. 287-288.
16. Гордеев В.Е., Сербинов А.И., Трошин Я.К. Возбуждение взрыва жидких взрывчатых веществ кавитацией. *Прикл. мех. и тех. физика*. 1967. Т. 1. С. 45—53.
17. Вербанов В.С., Маргулис М.А., Демин С.В. и др. Сонолюминесценция, возникающая при гидродинамической кавитации. I. Основные характеристики процесса. *ЖФХ*. 1990. Т. 64. № 12. С. 3357 – 3361.
18. Маргулис М.А., Пильгунов В.Н. Свечение и электризация при течении диэлектрических жидкостей в узком канале. *ЖФХ*. 2009. Т. 83. № 8. С. 1585 – 1590.
19. Кривошеев В.Є., Костюк Д.В., Ночніченко І.В. Експериментальне дослідження явища гідродинамічної люмінесценції при кавітації в гідравлічних системах. *Інновації молоді в машинобудуванні*. 2020. № 2. С. 284-287. URL: <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/201645>
20. Кривошеев В.Є., Ночніченко І.В., Костюк Д.В. Експериментальне дослідження явища гідродинамічної люмінесценції при кавітації в гідравлічних системах під впливом інертних газів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : матеріали тез доповідей

XIX ММНТК (25-26 листопада 2020 р., м. Суми). Суми: Сумський держ. ун-т, 2020. С. 50-53.

21. Experimental research of hydroluminescence in the cavitating flow of mineral oil/Ihor V. Nochnichenko; Alexandr F. Luhovskyi; Oleg M. Jakhno; Dmytro V. Kostiuk; Paweł Komada; Ainur Kozbakova, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, Vol. 1117615 (6 November 2019); DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2536946>. PDF: 8 pages (Scopus -ISSN: 2577-5421)

22. Ночніченко І.В. Study of hydrodynamic luminescence in a cavitation liquid medium /Ночніченко І.В., Луговський О.Ф., Костюк Д.В. // Науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування» № 3(84) (2019). – С.57-62 DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(84\).13853](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(84).13853).(Index Copernicus - ISSN: 0370-2197).

23. О. Luhovskyi Temperature influence on cavitation mass transfer in the channel of laval nozzle type / I. Nochnichenko, O. Jakhno , D. Kostiuk// Journal of the Technical University of Gabrovo, #57 (2018) I. – Gabrovo, Bulgaria, pp. 12 - 15, 2018 p.

24. Петросян О.П., Горбунов А.К., Рябченков Д.В., Кулюкина А.О. Эжекция и инжекция реагентов в технологиях водоподготовки. *Международный научно-исследовательский журнал*. Т. 62. № 8 Ч. 2. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.084>

25. Соколов Е.Я., Зингер Н.М.. Струйные аппараты: учеб. пособие. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

26. Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. Расчёт струйных насосов и установок : учеб. пособие. *Труды ВНИИгидромаша*. ВНИИгидромаш, 1968. Вып. 38. С. 44-96.

27. Темнов В.К., Спиридонов Е.К. Расчёт и проектирование жидкостных эжекторов: учебное пособие. Челябинск: ЧПИ, 1984. 44 с.

28. Спиридонов Е.К., Битюцких С.Ю. О работе жидкостного эжектора при малых коэффициентах эжекции. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014. Т. 16. № 1(2). С. 538-542.

29. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки: учебное пособие. Ленинград: Машиностроение, 1988. 256 с.

30. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці: навч. посібник. Львів: Афіша, 2000. 352 с.

31. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 133 с.

32. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2006.

33. ГОСТ 12.1.010-76* ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. Изд. офиц. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.

						110